



93

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت

لغة الكيمياء

● عند الكائنات الحيّة

تأليف

د. أحمد مدحت إسلام



سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ الكويت

صدرت السلسلة في يناير 1978 بإشراف أحمد مشاري العدواني 1923 ـ 1990

23

لغة الكيمياء

عند الكائنات الحيّة

تأليف

د. أحمد مدحت إسلام



المواد المنشورة في هذه السلسلة تعبر عن رأي كاتبها
ولا تعبر بالضرورة عن رأي المجلس

المحتوى

المحتوى
المحتوى
المحتوى

المحتوى
المحتوى
المحتوى
المحتوى

مقدمه

تلعب اللغة دورا هاما في حياة الأفراد، فهي إحدى وسائل الاتصال الهامة التي تستخدم في تبادل المعلومات، كما تستخدم في تسجيل، مختلف أنواع المعرفة وفي حفظها.

وقد استخدم الإنسان منذ قديم الزمان ما يصدر عن حنجرته من أصوات كوسيلة للتخاطب والتفاهم وكأداة للتعبير عن عواطفه وآرائه ومعتقداته.

ويعتقد أن وسائل الاتصال بين أفراد الإنسان الأول لم تكن تزيد عن بعض الهمهمات أو ما يشبه الزمجرة التي تختلف في نوعيتها أو في حدتها من موقف لآخر، وكان يصحبها في كثير من الأحيان بعض الإشارات باليدين أو بالرأس أو بالعينين مما قد يساعد على إيصال المعنى المقصود من فرد لآخر.

ولابد أن هذه الهمهمة أو الزمجرة قد تطورت بمرور الزمن إلى كلمات محددة المعنى تستعمل في مناسبات خاصة، ويدل كل منها على شيء ما، ثم تحولت بعد ذلك إلى لغة خاصة تترتب فيها هذه الكلمات بأسلوب خاص يتناسب مع كل ظرف ويتمشى مع كل مناسبة.

وقد ترتب على ذلك أن اختلفت هذه اللغات واللهجات من مجموعة بشرية إلى أخرى فتعددت هذه اللغات بين القبائل المختلفة، وأصبح لكل منها لغة خاصة بها تستخدمها في التعبير عن رغباتها،

وفي تبادل المنافع والمعلومات بين أفرادها.

وقد تعددت هذه اللغات وتنوعت حتى داخل الجنس الواحد، ويمكننا أن نرى ذلك بجلاء في القارة الهندية، فيوجد بها ما يزيد على تسع وعشرين لغة مستقرة، بينما يقدر عدد هذه اللغات أو اللهجات على مستوى العالم بما يزيد على عدة مئات، يتعامل بها البشر فيما بينهم كوسيلة للتفاهم وتبادل المعرفة.

ولا تعد اللغة المنطوقة الوسيلة الوحيدة لإجراء الاتصالات وتبادل المعلومات، بل لقد ابتكر الإنسان وسائل أخرى لإجراء مثل هذه الاتصالات فاستخدم الإشارات الضوئية مثلا لتبادل الوسائل بين القطع البحرية والسفن في عرض البحار، كما استخدم إشارات مورس لنقل الرسائل والأخبار عبر المسافات، إلا أننا نلاحظ أن جميع هذه الوسائل التي ابتكرها الإنسان تعتمد أساسا على حاستين هما حاستا السمع والبصر في جميع هذه الحالات ولا تخرج عن كونها وسائل تعتمد على إصدار الصوت أو على رؤية الصورة.

ويصعب علينا كثيرا أن نتصور أن هناك طرقا أخرى للتخاطب أو للاتصال بين أفراد بعض الكائنات الحية خلاف ما نعرفه من وسائل، بل يصعب علينا كذلك أن نتصور أن هناك مخلوقات أخرى تستطيع أن تتبادل المعلومات فيما بينها بطرق أخرى، كأن تفرز بعض المواد الكيميائية التي يمكن تذوقها أو شمها والتعرف عليها والتأثر بها تبعا لذلك.

وقد يشق علينا أيضا أن نتصور أن لكل مادة من هذه المواد الكيميائية طعما خاصا أو رائحة خاصة تستثير إحساسا خاصا عند الكائن الحي الذي يقوم باستقبالها، فيصبح لكل منها بذلك مدلول خاص، ومعنى معين، فتشبه بذلك كلمات اللغة العادية، ويمكن استخدامها بدلا من هذه الكلمات، كما يمكن ترتيبها بأسلوب خاص بحيث تكون فيما بينها جملا مفيدة تحمل المعنى المقصود.

وعلى الرغم من صعوبة تصور هذه الأفكار، وعدم اكتشافنا لهذه الاحتمالات بصورة عملية فيما حولنا من كائنات، إلا أنها على الأقل، تظل قائمة ومحتملة من الناحية النظرية.

وفي حقيقة الأمر، ليس من الصعوبة أن نبني، من الناحية النظرية،

نظاما للاتصال يقوم على استخدام المواد الكيميائية، بحيث يستطيع هذا النظام أن ينقل إلينا عددا هائلا من المعلومات بكفاءة كبيرة. ولو أخذنا المركبات العضوية مثالا لذلك لوجدنا أنها متنوعة التركيب وتوجد بأعداد هائلة، فيبلغ المعروف منها حاليا ما يزيد على المليونين من المركبات، وطبقا لنظرية الاحتمالات، يمكن أن يوجد من هذه المركبات العضوية مئات الملايين، مما يزيد من صلاحيتها للاستخدام كمفردات في لغة الكيمياء

. وتتميز المركبات العضوية بصفة عامة، بأنه يمكن تغيير حواسها بإجراء تغيير طفيف في تركيب جزيئاتها، مما يجعلها تصلح صلاحية كبيرة للاستخدام لنقل الرسائل والمعلومات في هذه اللغة الجديدة التي نحن بصددها.

ولا شك أن هذا التصور يبدو غريبا إلى حد كبير بالنسبة للكثيرين منا وذلك لأن نظرتنا إلى مثل هذه الأمور قد تشكلت تماما بقدراتنا السمعية والبصرية وأصبح من العسير تغيير معتقداتنا في هذا المجال أو حتى تعديلها تعديلا طفيفا.

ولا يعتبر هذا المفهوم غريبا حقا إذا تذكرنا أن تبادل المعلومات والرسائل داخل جسم الإنسان وغيره من الكائنات، إنما يتم في الحقيقة عن طريق مثل هذه المواد الكيميائية، فالمخ يسيطر سيطرة تامة على الجسد عن طريق الرسائل الكهروكيميائية التي يرسلها ويتلقاها على الدوام، كذلك فإن أغلب الأعمال ل الحيوية الهامة التي تدور داخل خلايا الكائنات الحية، إنما تسيطر عليها بعض الجزيئات الكيميائية التي تتميز بتركيب خاص والتي تحمل في تركيبها هذا قدرا هائلا من المعلومات في شفرة كيميائية فريدة في نوعها، تحدد نوع وتركيب المواد الكيميائية الأخرى التي تنتج داخل الخلية الحية، وكذلك تحدد طبيعة هذه المركبات ووظائفها وتحدد نوع الكائن الحي نفسه وطبيعته.

ويبدو من كل ذلك، أن هناك لغة كيميائية خاصة تربط بين مختلف الخلايا في الكائن الحي، وأن جميع الأوامر والتعليمات التي تتلقاها هذه الخلايا إنما تصدر منها أو إليها على هيئة جزيئات كيميائية محددة التركيب تشبه المفردات اللغوية إلى حد كبير.

ويمكن تصور هذا المفهوم بطريقة أفضل إذا انتقلنا إلى مملكة الحشرات،

فمن المعروف أن هذه الحشرات تعيش في تجمعات خاصة تشبه المجتمعات، تتم فيها الأعمال بمنتهى الدقة والنظام.

ولنسأل أنفسنا كيف تستطيع هذه الحشرات أن تحتفظ بهذا النظام الفائق داخل مستعمراتها؟ وكيف تقوم بتقسيم العمل بين مختلف أفراد هذه المستعمرة؟ وكيف تعلم بوجود دخيل أو حدوث عدوان على مستعمرتها؟ وكيف تتعرف على موقع الغذاء، ومتى تقوم بتخزينه؟ إلى غير ذلك من الأسئلة التي قد تخطر ببالنا.

وللإجابة على ذلك لا بد أن نفترض أن هناك وسيلة ما للاتصال بين أفراد هذه المستعمرات وتبادل المعلومات فيما بينها، ولكنها قطعا تفعل ذلك بأسلوب غير تقليدي لم يختلف كل الاختلاف عن الأساليب التي ألفناها في عالمنا نحن البشر.

وقد تم اكتشاف عدد من وسائل الاتصال الكيميائية المعقدة التي تستخدمها بعض هذه الكائنات لتبادل المعلومات، وتبين أن بعض الحشرات تقوم بإفراز بعض المواد الكيميائية في مناسبات معينة، وهي تفعل ذلك إما للتأثير المباشر في الأفراد المحيطة بها، وإما للتحكم في البيئة نفسها، وهي تقوم بذلك ببراعة، فهي لا تخلط بين مناسبة وأخرى، ولا تخطئ في ذلك على الإطلاق، فلكل مناسبة مادة خاصة بها، كما أن لكل مادة غدة خاصة بها أيضا.

وتبدو هذه الظاهرة بوضوح في مستعمرات النمل الأبيض، فإن كلا من جماعات النمل المخصصة للتكاثر، وجماعات الجنود التي تتولى الدفاع عن المستعمرة، تفرز مادة كيميائية معينة تمنع جماعات النمل الأخرى من التحول إلى صورتها. وبذلك يتم الاحتفاظ بالتوازن في أعداد كل صنف داخل المستعمرة. ومن المعتقد أن هذه المواد الكيميائية تؤثر على الغدد الصماء في هذه الكائنات، وهي الغدد التي تسيطر على عمليات التحول من صنف لآخر، والمسئولة عن اكتساب الصفات النوعية لكل حشرة.

ولا يقتصر الأمر على مستعمرات النمل فقط، بل تنتشر هذه الظاهرة بين غيرها من أفراد مملكة الحشرات، فذكور الجراد البالغة تقوم بإفراز مادة كيميائية متطايرة من السطح الخارجي لجلودها لتساعد على الإسراع في نمو أفراد الجراد الصغير السن. وقد اتضح أن عذراء الجراد عندما

تحس بوجود هذه المادة، ترتجف قرون استشعارها بوضوح كما أن أرجلها الخلفية وبعض أجزاء فمها تهتز عند تعرضها لهذه الرائحة.

كذلك تمتد هذه الظاهرة لتشمل كثيرا من أفراد مملكة الحيوان، وقد تتسبب بعض هذه المواد الكيميائية في إحداث بعض التغييرات الفسيولوجية في جسم الحيوان دون أن تحدث أثرا ملحوظا في سلوكه أو في تصرفاته الظاهرة. ومن أمثلة ذلك ما يحدث لبعض إناث الفئران عندما تشم رائحة بعض الإناث الأخرى من أفراد نوعها. فعند وضع هذه الإناث في مجموعات من أربعة أفراد، نلاحظ أن حالات الحمل الكاذب تنتشر فيما بينها، ولكن هذه الإناث تعود مرة أخرى إلى حالتها الطبيعية الخصبة عند عزلها ووضع كل منها على انفراد، أو عند إزالة بسيلان الشم منها، مما يدل على أنها تستقبل رائحة خاصة تقوم بإفرازها بعض الإناث الأخريات.

وتدل هذه التجربة على أن دورة المبيضين في إناث الفئران يحدث بها شيء من الاضطراب عندما تضطر هذه الإناث للعيش مزدحمة في مجموعات كبيرة، وربما كانت مثل هذه المواد الكيميائية التي تفرزها هذه الإناث إحدى الوسائل التي تستخدمها هذه الحيوانات لتحديد نسلها وللسيطرة على كثافة السكان.

وقد اتضح كذلك أن رائحة أحد ذكور الفئران تساعد على بدء دورة المبيض في إناث الفئران، كما أن رائحة ذكر فأر غريب قد تتسبب في إيقاف حمل حديث لإحدى الإناث، بينما نلاحظ أن رائحة الذكر الأصلي الذي تسبب في الحمل لا أثر لها طبعا على حمل هذه الأنثى.

ويعتقد بعض العلماء أن هناك بعضا من الأدلة على أن رائحة ذكر الفأر الغريب تتسبب في تعويق إفراز هرمون «البرولاكتين» مما يؤدي إلى عدم استكمال نمو إحدى غدد المبيض عند أنثى الفار.

وتدل هذه الظواهر جميعا على أن هناك لغة خاصة بين هذه الكائنات الحية تستخدم فيها بعض المركبات الكيميائية التي تقوم بإفراز كل منها في إحدى المناسبات الخاصة أو من أجل غرض معين. ولا يعرف أحد تماما ما يحدث في هذه الحالات، فلم يتم بعد فصل هذه المواد الكيميائية التي تسبب مثل هذه التغيرات، إلا في بعض الحالات القليلة، ولذلك لا تعرف طبيعة أغلب هذه المواد أو تركيبها حتى الآن، كما أن الآثار التي تحدثها

بالكائن الحي وطريقة عملها في جسده لم يتم فهمها بعد بصورة جيدة في أغلب الحالات.

وقد تم فصل بعض المواد الكيميائية البسيطة التي ينتشر استخدامها في مملكة الحيوان لإحداث أثر واحد محدد، وثم التعرف على تركيب بعض منها. وتحدث مثل هذه المواد تأثيرا مباشرا على الجهاز العصبي المركزي، وتخدم بذلك كثيرا من الأغراض والوظائف، فهي قد تحدد سلوك الحيوان بالتأثير في تصرفاته المباشرة، ويمكن بذلك اعتبارها بديلا للغة الكلام فهي تسهم في تبادل المعلومات وفي تلقى الأوامر المباشرة، ومن أمثلة هذه المواد تلك المواد المعروفة باسم «مواد الأثر» وهي المواد التي يستخدمها النمل لتحديد اتجاهات سيره وحركاته خارج المستعمرة، و«مواد الإنذار» وهي المواد التي تطلقها الحشرات للإنذار بوقوع الخطر، و«جاذبات الجنس» التي تطلقها الإناث لجذب ذكور الحشرات.

ويتضح مما سبق أن لكل مادة كيميائية أثرا معينا، وفعلا خاصا تنفرد به هذه المادة دون غيرها، وأنه إذا أطلقت هذه المادة بين كائنين أشبهت في ذلك الكلمات والجمل المفيدة التي تتكون منها لغة الكلام عند الإنسان.

أما إذا أطلقت هذه المواد داخل جسد الكائن الحي فإنها تشبه في ذلك الرسائل المكتوبة التي تحمل التعليمات، وتحدد خط السير وأسلوب العمل، وهي تماثل في ذلك تعليمات التشغيل أو الشفرة، وهذه هي الطريقة التي تعمل بها الأحماض النووية داخل أجساد الكائنات الحية، كما تفعل ذلك كثير من المواد الكيميائية الأخرى، مثل مركبات الكاينين والإنزيمات ومنظمات النمو وغيرها.

١ مواد الأثر

ربما كانت أكثر أنظمة الاتصال الكيميائية تطورا في الطبيعة، هي تلك الأنظمة التي تستخدمها بعض أفراد مملكة الحشرات الفائقة التنظيم مثل النحل أو النمل.

ومن المعروف أن هذه الحشرات تعيش في تجمعات كبيرة، فهي في حالة النمل تعيش في مستعمرات كبيرة تبنيها في باطن الأرض أو في أي تجويف يمكن العثور عليه، بينما في حالة النحل تعيش في خلايا تقيمها داخل الأشجار أو في أي مكان مهجور.

وقد ظن في بادئ الأمر أن أفراد هذه المجموعات الحشرية قد تتبادل الرسائل والمعلومات بتحريك قرون الاستشعار على هيئة إشارات خاصة لكل منها مدلول خاص.

ولكننا لو فحصنا مساكن هذه الحشرات، لوجدنا أن كلا من المستعمرات التي يقيمها النمل، والخلايا التي يبنيها النحل تتكون من سراديب متشعبة يغشاها الظلام الدامس على الدوام، وبذلك فان أفراد هذه الأنواع من الحشرات تعيش عادة في ظلام تام داخل هذه الخلايا أو المستعمرات، حتى أنه قد يصعب على إحداها أن تميز الأخرى

داخل ممرات ودهاليز هذه المساكن المتشعبة.

و ينبنى على ذلك أن أفراد هذه المجموعات الحشرية لن تستطيع أن تتبادل الإشارات فيما بينها، حتى لو أرادت ذلك، فلن يمكن لأحد هذه الأفراد أن يميز بوضوح نوع الإشارة التي قد يرسلها له فرد آخر في هذا الظلام الحالك، ويعني هذا أن نظام تبادل المعلومات داخل المستعمرات أو الخلايا عن طريق الإشارات، يصبح يعيد الاحتمال. ولا بد أن تكون هناك وسيلة أخرى تصلح للتخاطب وتبادل المعلومات حتى في هذا الظلام الدامس.

وقد رأى بعض العلماء أن أنسب أنظمة الاتصال بين هذه الحشرات قد يكون نظاما يتضمن إفراز بعض المواد الكيميائية المتطايرة التي يمكن استخدامها لإيصال معلومة معينة أو لإصدار أمر ما. ولا شك أن مثل هذا النظام لن يتأثر بالظلام الدامس المنتشر في خلايا أو مستعمرات هذه الحشرات.

وقد تمكن العلماء حديثا من إثبات صحة هذا الفرض، وتبين لهم أن هناك شفرة كيميائية خاصة بكل نوع من أنواع هذه الحشرات، وقاموا بابتداع بعض التجارب العلمية البسيطة والمعقدة للكشف عن أسرار هذه الشفرة، وتمكنوا في بعض الحالات من فصل بعض المركبات الكيميائية المستخدمة في هذا الغرض وتعرفوا عليها وعلى تركيبها الكيميائي.

وقد تناولت تجارب هؤلاء العلماء أنواعا متعددة من الحشرات، ولكنها تركزت بصفة خاصة على مستعمرات النمل، وذلك بسبب سهولة الحصول على أفراد هذه الحشرات التي تنتشر في كل مكان، كما انه يسهل متابعة أفراد النمل في حركتها اليومية أثناء التجارب المعملية المختلفة.

وقد استن العلماء في تجاربهم خطة عمل غاية في البساطة، فقد قاموا أولا بدراسة أنواع الغدد التي توجد على جسم شغالات النمل، ثم قاموا بفصل هذه الغدد واحدة بعد الأخرى، واستخرجوا محتويات كل منها، ثم بدءوا في دراسة أثر محتويات كل غدة، على حدة، على مسلك أفراد الشغالات في مستعمرة النمل.

ويرجع السبب في اختيار أفراد الشغالات لإجراء هذه التجارب عليها، إلى أنها أكثر أفراد مستعمرة النمل عددا، كما أن هذه الشغالات هي المسئولة عن القيام بأغلب الأعمال الهامة في المستعمرة، ولهذا فهي على

الأغلب، أكثر أفراد هذه المستعمرة تلقيا للأوامر، وأشدها احتياجا للحصول على المعلومات، للقيام بوظائفها على أكمل وجه.

وتتميز جميع أفراد النمل بأنها مزودة بنظام متطور من الغدد يتوزع على جميع أجزاء جسدها. وحتى عهد قريب كانت أغلب هذه الغدد غير محددة الوظيفة، ولا يعلم أحد عن فائدتها شيئا، ولكننا الآن نعرف الكثير عن بعض هذه الغدد، أمكن التعرف على وظيفة البعض منها، فهي تعتبر مصدرا لعديد من المواد الكيميائية التي تستخدم في عمليات الاتصال وتبادل المعلومات والرسائل بين مختلف أفراد المستعمرة.

وقد أدى التعرف على هذه الغدد، ومعرفة الأثر المباشر الذي تحدثه محتويات كل منها إلى التوصل لفهم بعض الأسس التي يقوم عليها ذلك النظام الرائع الذي يسود مملكة النمل ويميزها من غيرها من الحشرات.

ومن أهم إفرازات هذه الغدد تلك المادة الكيميائية التي يتركها النمل على الأرض أثناء سيره والتي تستخدم دليلا للشغالات يساعدها على تحديد اتجاهها أثناء انتقالها من مكان لآخر ولذلك فهي تسمى عادة «مادة الأثر» أو «مواد الأثر» فربما كانت خليطا من المواد الكيميائية ولا يعرف شيء عن تركيبها حتى الآن.

لقد تبين أن «مواد الأثر» تستخدم في الحقيقة في عديد من الأغراض في مملكة النمل فهي قد تستخدم في زيادة نشاط الشغالات ودفعها إلى مزيد من العمل، كما إنها قد تستخدم في هداية الشغالات إلى مواقع مناسبة لبناء عش جديد، ولكن فائدتها الرئيسية الغالبة هي إرشاد مجموعات الشغالات إلى مواقع الغذاء.

وقد أجريت التجارب الخاصة بمواد الأثر على نوع خاص من النمل يعرف باسم «نمل النار» «Fire Ants»، وتبين من هذه التجارب أن هذه المواد تفرز بواسطة غدة خاصة تتصل بإبرة اللدغ الموجودة بمؤخرة النملة، وعندما تريد هذه النملة أن تضع مواد الأثر على الأرض فهي تفعل ذلك عادة بأن تلمس الأرض بإبرتها الخلفية أثناء سيرها، وهي تفعل ذلك على فترات متقطعة بحيث تضع كل مرة قدرا ضيئلا من مادة الأثر، وينتج عن ذلك أن الإفراز الذي تضعه النملة على الأرض لا يكون على هيئة خط مستمر، بل يأخذ هيئة الخط المتقطع، ويشبه تصرف النملة هذا ما يقوم به قلم التحبير

المعروف عندما يرسم مجموعة من الشرط على خط واحد مستقيم.

ولا يعرف السبب الحقيقي في قيام النملة بوضع هذا الخط المتقطع من مادة الأثر بدلا من وضعها على هيئة خط واحد متصل، ولكن يبدو أن النملة تفعل ذلك كي توفر في كمية المادة المستخدمة من مواد الأثر، بل ربما كانت تفعل ذلك حتى لا يزيد تركيز هذه المادة على الحد المطلوب.

ولا بد لنا هنا أن نتساءل عن الأسباب التي تؤدي إلى استعمال مواد الأثر، ومتى تقرر النملة وضع هذا الخط المتقطع؟

لقد أثبتت الدراسات التي أجريت في هذا المجال أن هذا يحدث عادة عندما تعثر إحدى الشغالات على الغذاء أثناء تجوالها، فهي عندما تعثر مثلا على حشرة ميتة أو أي شيء آخر يصلح غذاء لأبناء جنسها، تتناول منه قدرا كافيا ثم تبدأ في العودة إلى مكان تجمع النمل أو إلى المستعمرة كي تخطر بقية الأفراد بوجود وفرة من الغذاء في هذا الموقع الجديد. وحتى لا تضل هذه الشغالة الطريق، تقوم أثناء عودتها بوضع مادة الأثر على سطح الأرض مبتدئة من موقع الغذاء حتى تصل إلى موقع المستعمرة وبذلك تكون قد رسمت لغيرها دون مجهود، الطريق الصحيح الذي يجب أن يسلكه كل من يريد الوصول إلى موقع الغذاء.

ويبدو أن الشغالات تنجذب انجذابا شديدا نحو مواد الأثر، فما أن تحس بوجود هذه المواد على الأرض، حتى تندفع بصورة تلقائية نحو هذا الخط المتقطع المرسوم بدقة، والذي يشبه ذلك الخط الأبيض المتقطع الذي تضعه إدارة المرور في منتصف الطريق الصحراوية، وتبدأ كل منها في السير عليه وتتبعه حتى تصل إلى موقع الغذاء.

ولعل ذلك يفسر لنا تلك الظاهرة التي نلحظها دائما، فجموع النمل تسير دائما بعضها وراء بعض، سواء على الأرض أو على الجدران. وهي تفعل ذلك في نظام شديد وكأنها تتبع في سيرها خطا وهميا. وفي الحقيقة لم يعد هذا الخط وهميا الآن، بل أصبح أمرا واقعا، فإن أفراد النمل تتبع ذلك الخط المتقطع من مادة الأثر على طول الطريق.

والآن هل يعرف النمل الذي يتبع الطريق الذي تحدده مادة الأثر حقيقة

الغرض من رحلته، أم أنه يفعل ذلك دون وعي وتفكير؟.

وللإجابة عن هذا السؤال لابد أن نذكر بعض التجارب التي قام بها المهتمون باستجلاء أسرار هذه الشفرة الكيميائية التي يخاطب بها النمل ويتبادل بها المعلومات، والتي تبين منها أن شغالات النمل تتبع مواد الأثر دون وعي أو إدراك، وأن هذا يعتمد أساسا على درجة تركيز هذه المواد على طول الطريق.

لقد قام بعض العلماء بقتل بعض أفراد النمل من الشغالات، ثم قاموا باستخلاص محتويات الغدة التي تقع بمؤخرة هذه الشغالات والمسئولة عن إفراز مادة الأثر، واستخدموا محتويات هذه الغدة لإحداث أثر مصطنع على سطح الأرض.

وبمجرد وضع مادة الأثر على سطح الأرض على هيئة خط متقطع، قامت في الحال مجموعة كبيرة من الشغالات بتتبع هذا الأثر دون تردد، وحتى في الحالات التي رسم فيها هذا الخط على هيئة دائرة كبيرة مقفلة، تبدأ من مستعمرة النمل لتعود إليها مرة أخرى، كانت الشغالات تتبع هذا الأثر دون وعي أو تفكير، وتسير في هذه الدائرة لتعود إلى مستعمرتها دون أن تعثر على شيء ذي قيمة ودون أن تعرف لماذا تفعل ذلك؟.

وقد لوحظ أن زيادة تركيز مواد الأثر يؤدي إلى حدوث ظاهرة غريبة لا تحدث إلا نادرا في مستعمرات النمل، فعند وضع كمية كبيرة من محتويات الغدة التي تحتوي على مواد الأثر بجوار إحدى مستعمرات النمل، يحدث في الحال ما يشبه الهجرة الجماعية، فيتجه قسم كبير من هذه المستعمرة ومعه الملكة أحيانا في اتجاه هذه المحتويات تاركا القسم الآخر من المستعمرة وراءه. ويبدو أن هذه الزيادة الهائلة في تركيز مواد الأثر يعتبر مؤشرا إلى زيادة أعداد سكان المستعمرة عما تستطيع أن تحتويه هذه المستعمرة فتحدث الهجرة الجماعية.

ولا يعرف حتى الآن تركيب مواد الأثر، وان كان من المنتظر أن تعرف ذلك في القريب العاجل بعد تقديم طرق التحليل الكيميائي. وكل ما يعرف عنها الآن أنها مادة طيارة إلى حد ما بمعنى أنها لا تبقى في مكانها طويلا، بل سريعا ما تتبخر ويضيع أثرها بمرور الوقت، كما اتضح أنه يلزم وجود تركيز معين من هذه المادة حتى تتمكن الشغالات من الإحساس بها .

وقد بينت التجارب التي أجريت في هذا المجال، أن تركيز مادة الأثر يبدأ في الاضمحلال فور وضعها على الأرض، ويضيع هذا الأثر نهائيا بعد مضي دقيقتين تقريبا على بدء وضعها على أي سطح من السطوح.

ويترتب على ذلك أن الشغالات التي تقوم بتتبع هذا الأثر وتنطلق بعيدا عن مستعمرة النمل، لا تستطيع أن تتبع هذا الأثر الكيميائي المتطاير إلا لمسافة بسيطة تتناسب مع سرعتها ومع الزمن اللازم لتبخر مادة الأثر، وهي لا تزيد كثيرا على المسافة التي تستطيع النملة أن تقطعها سيرا في دقيقتين، وهو الزمن اللازم لتبخر مادة الأثر، ولا تزيد هذه المسافة في المتوسط على خمسين سنتيمترا.

وقد يبدو من كل ذلك للوهلة الأولى، أن هذه الخاصية الطيارة لمادة الأثر تمثل عائقا كبيرا بالنسبة لصلاحية هذه المادة، وذلك لأنها تحدد المسافات التي يمكن فيها للنمل أن يتبادل المعلومات، ولكن ذلك غير صحيح، بل على العكس من ذلك، فإن هذه الخاصية الطيارة التي لمادة الأثر تعتبر من أهم مميزاتها، وهي تساعد على سهولة عمليات الاتصال داخل المستعمرة إلى حد كبير. فسرعة تطاير مادة الأثر وعدم بقائها على سطح الأرض لفترة طويلة يمنع تداخل الآثار القديمة التي سبق لأفراد النمل أن وضعتها في فترة سابقة، مع الآثار الجديدة، وذلك لأن الآثار القديمة تكون قد تبخرت وانتهت منذ زمن طويل.

ولا شك أن هذه ميزة كبرى، فإنها تؤدي إلى عدم تداخل المعلومات القديمة مع المعلومات الجديدة وتمنع ما يمكن أن يحدث من لبس بالنسبة لأفراد الشغالات التي تخرج وراء الصيد الجديد.

وهناك ميزة أخرى تعود بالنفع على أفراد الشغالات من سرعة تبخر أو تطاير مادة الأثر، فقد اتضح أن أهمية الصيد أو الغذاء الذي يقود إليه هذا الأثر، تتناسب تناسبا طرديا مع كثافة مادة الأثر التي تضعها الشغالات، ويعني هذا أنه كلما كان تركيز مادة الأثر عاليا، كان هذا دليلا على وفرة الصيد أو الغذاء الذي يقود إليه هذا الأثر.

ولا بد لنا أن نتساءل كيف تتمكن شغالات النمل من زيادة كثافة مادة الأثر أو التقليل منها! ويمكن الإجابة على هذا التساؤل إذا تصورنا الوضع التالي: عندما تكتشف إحدى الشغالات مصدرا للغذاء أثناء تجوالها تقوم

أولا باقتطاع جزء من هذا الغذاء لنفسها، ثم تستدير عائدة إلى مستعمرتها لتخبر بقية أفراد هذه المستعمرة بهذا الاكتشاف.

وما أن تبدأ النملة في رحلة العودة حتى تأخذ في وضع مادة الأثر على الأرض على هيئة خط متقطع كما سبق أن ذكرنا، وبذلك يصل هذا الخط بين مصدر الغذاء الذي قد يكون بعض المواد السكرية أو حشرة ميتة، وبين المستعمرة.

وعندما تشعر الشغالات الأخريات برائحة مادة الأثر، تندفع جموعها سائرة فوق هذا الأثر في اتجاه مصدر الغذاء. وقد لوحظ أن الحشرة التي تحصل على كفايتها من الغذاء، تستدير قافلة في اتجاه المستعمرة، وهي عندما تفعل ذلك، تضيف من غدتها الخلفية إلى مادة الأثر الأصلية أثناء رحلة العودة. أما الحشرة التي لا تستطيع أن تحصل على الغذاء أو لا تجد هناك ما تأكله، فتعود إلى مستعمرتها دون أن تضيف شيئا إلى مادة الأثر الأصلية.

ويترتب على ذلك أنه كلما كان الغذاء وفيرا عند نهاية خط الأثر، كلما استطاعت الشغالات أن تحصل على نصيب منه لنفسها، ويزداد بذلك عدد الشغالات التي تحصل على كفايتها من الغذاء ويرتفع بالتالي تركيز مادة الأثر بما تضيفه كل من هذه الشغالات أثناء عودتها إلى المستعمرة مما يشجع غيرها على الذهاب إلى مصدر الغذاء قبل أن ينفذ.

ومن البديهي أنه عندما يقارب الغذاء على النفاد، نجد أن عدد الشغالات التي لا تستطيع الحصول على نصيب منه يزداد بمرور الوقت، وعلى ذلك فإن مثل هذه الشغالات تعود إلى المستعمرة دون أن تضيف شيئا إلى مادة الأثر، فتبدأ كثافة مادة الأثر في التناقص تدريجيا مع تناقص كمية الغذاء، ويتناقص تبعا لذلك أعداد الشغالات التي تذهب إلى موقع الغذاء حتى تتبخر مادة الأثر نهائيا بمرور الوقت ويمتنع إقبال الشغالات على القيام بهذه الرحلة.

ويمكننا تشبيه الوضع السابق ببعض الطرق التي توجد في الريف والتي تعرف باسم «المدق»، فإذا وجدت قرية أو سوق في نهاية أحد هذه «المدقات» ازدادت الحركة عليه وصارت أرضه ممهدة. أما إذا نقل السوق من نهاية هذا المدق فإن الحركة فوقه تتوقف، ويمتنع السير عليه فيصبح مهملا

وتغطيه الحشائش والأعشاب تدريجيا حتى يختفي تماما في نهاية الأمر.

ويمكننا أن نستخلص مما سبق أننا إذا رأينا صفا من النمل يسير على الأرض أو فوق سطح جدار في انتظام، لكان معنى ذلك أن هذا النمل يسير فعلا في طريق معلوم مرسوم لا نراه نحن، ولكن النمل يحس به ويدركه بطريقته الخاصة، كذلك إذا لاحظنا أن عددا كبيرا من أفراد النمل يتتبع هذا المسار، لكان معنى ذلك أن هناك غذاء وفيرا في نهاية هذا المسار، بينما إذا وجدنا أن عددا قليلا من النمل يتحرك فوق هذا المسار، فان هذا يعني أن النمل إما أن يكون ما زال في بدء رحلة الاستكشاف وإما أن يكون قد أقبل على نهاية هذه الرحلة.

وقد بينت التجارب التي أجريت في هذا المجال أن مادة الأثر تتوزع بطريقة متكافئة على طول خط الأثر، أي أن تركيزها يكون متساويا على طول المسار، فهي لا تكون مركزة في جزء منه ومخففة في جزء آخر، بل يكون توزيعها ثابتا على طول الطريق.

ولو أننا استطعنا أن نرى المادة الكيميائية التي تحدد الأثر لرأينا خطا متقطعا منتظما يتكون من عدة شرط متتابعة، ولرأينا أن جميع هذه الشرط متساوية في الطول وفي السمك على طول المسار. ولا شك أن هذا التوزيع المتكافئ لمادة الأثر على طول المسار يخدم غرضا رئيسيا وهاما، فهو يساعد على اندفاع شغالات النمل نحو الهدف دون تردد وبسرعة ثابتة، وذلك لأن رائحة مادة الأثر تكون دائما ثابتة التركيز أمام هذه الشغالات: وهي تشدها إلى الأمام بنفس القدر مما يجعلها تسير على هذا الخط في انتظام حتى تصل إلى نهايته.

وقد اتضح كذلك أن الأثر الفعال لمادة الأثر يتركز فوق خط المسار فقط، وأن هذا التركيز يقل كثيرا بل يقل فجأة إذا خرجنا عن هذا الخط. ويمكن فهم ذلك لو تصورنا أننا نضع خطا بقلم من الحبر على ورقة من أوراق الصحف فسنرى على الفور أن هذا الخط لن يكون محددا وذلك لأن ورق الصحف يتشرب الحبر بسهولة، ولذلك يبدأ الحبر في الانتشار خلال الورق، ويتحول هذا الخط الرفيع بعد فترة إلى خط سميك غير محدد المعالم. أما إذا رسمنا هذا الخط بنفس قلم الحبر على ورق من النوع الجيد المصقول، فإن الحبر لن ينتشر خلال نسيج هذا الورق، وسيبقى هذا

الخط واضحا محدد المعالم لأن تركيز الحبر فيه يكون متكافئا على طول امتداده.

وتشبه مادة الأثر خط الحبر الرفيع المرسوم على الورق الجيد المصقول كما في المثال الأخير، ويعني هذا أن مادة الأثر لا تنتشر في الفراغ المحيط بالمسار، بل تبقى مركزة في هذا الخط على الدوام حتى يتم تبخرها بعد ذلك بمرور الوقت.

ولا شك أن هذه الخاصية تضمن توحيد الاتجاه الذي تسير فيه شغالات النمل وإلا لخرج الكثير منها عن هذا الخط ولا تنتشر في كل اتجاه، ولفقدت مستعمرة النمل ما تتميز به من انضباط ونظام.

ولا تتشابه مواد الأثر التي تستخدمها أنواع النمل المختلفة، بل يبدو أن كل نوع من أنواع النمل له مواده الكيميائية الخاصة به. وقد أثبتت التجارب صحة هذه القاعدة إلى حد كبير، فقد لوحظ أن مواد الأثر المستخرجة من غدد جنس ما من النمل لا تؤثر في أفراد جنس آخر بل يبدو أن كل جنس من النمل له لغته الخاصة ومصطلحاته التي يتعامل بها. ولهذا لا يحدث خلط ما أو حتى اضطراب من أي نوع عندما يتقاطع خطا أثر لنوعين أو أكثر من أنواع النمل المختلفة، بل نجد أن كل فريق منها يستمر في تتبع مساره الخاص دون أن يلقى بالا أو حتى يشعر بمسار الفريق الآخر.

ويشبه هذا ما قد يحدث عندما يتقابل فردان يتكلم كل منهما بلغته الخاصة ولا يفهم لغة الآخر. ولكن الفرق هنا كبير، فإن الإنسان يستطيع أن يتعلم أكثر من لغة، فهل تستطيع شغالات النمل أو أفراد الحشرات تعلم لغة بعضها الآخر؟

نشك في ذلك كثيرا، فإن استقبال الحشرات لهذه المواد الكيميائية يتم بطريقة محددة وفي مراكز خاصة كما سنرى فيما بعد عند مناقشة الطريقة التي تشم بها الكائنات الحية روائح ما حولها من موجودات. وهذا في تقديرنا، لن يسمح بحدوث التأقلم المطلوب أو يسمح بهذا النوع من التعليم.

ولا يقف استخدام مواد الأثر على مملكة النمل فقط، بل هناك أنواع أخرى من الحشرات تقوم باستخدام بعض المواد المشابهة، ولكنها لم تدرس بعد بدرجة كافية كما درست مواد الأثر في حالة النمل.

2 مواد الإنذار

لا تعتبر مواد الأثر هي المواد الكيميائية الوحيدة التي يستخدمها النمل في عمليات الاتصال بين أفراده، بل هناك عدد آخر من هذه المواد تستخدمها الشغالات لتنظيم العمل داخل مملكة النمل الفائقة التنظيم.

وقد ساعد اكتشاف مواد الأثر على دفع بعض العلماء للبحث عن مثل هذه المواد الكيميائية التي تؤدي غرضا معينا وتقوم بدور فعال في حياة مستعمرة النمل، وانتهت هذه البحوث إلى اكتشاف بعض المواد الكيميائية الأخرى التي تستخدم في تبادل بعض الأخبار والمعلومات بين أفراد الشغالات مثل مواد الإنذار بالخطر أو الإنذار بالوفاة.

ولو أننا كنا من هواة مراقبة النمل في حياته اليومية العادية لوجدنا أن مستعمرة النمل الصغيرة تموج بالحركة والنشاط، ولوجدنا الشغالات دائبات الحركة رائحات غاديات في كل اتجاه. ولو أننا قمنا بإحدى التجارب البسيطة، وأحضرنا قضيبا زجاجيا نظيفا، ثم لمسنا به ظهر إحدى هذه الشغالات لوجدنا أن هذه الشغالة ستقفز في الحال وتتملكها حالة من الفزع والاضطراب تجعلها تندفع في كل اتجاه. وربما كان هذا الاضطراب الذي تعانيه هذه

النملة التي نحن بصددها هو رد فعل طبيعي لخوفها من لمسة القضيب الزجاجي، ولكن الشيء المدهش أنه، في خلال أجزاء من الثانية، ينتقل هذا الفزع والاضطراب من هذه النملة إلى بقية أفراد النمل المحيطة بها، ويبدأ الجميع في التدافع والقفز في كل اتجاه دون هدف واضح.

ولو أننا مضينا في مراقبة هذه المستعمرة الصغيرة للاحظنا أن هذا الاضطراب كان محليا إلى حد كبير، وأن موجة الفزع والقفز والتدافع إنما حدثت في قطاع صغير من هذه المستعمرة، وكانت على التحديد في القطاع المحيط بالنملة التي لمسنا ظهرها فقط، بينما بقيت جميع أنحاء المستعمرة الأخرى على حالها دون أن تحس من ذلك شيئا. كذلك سنلاحظ أن هذا الاضطراب والفزع المحلي لن يبقى أكثر من دقيقة واحدة، وسرعان ما يعود الهدوء إلى هذا القطاع وتنتهي حالة الفزع والتدافع التي حدثت وتعود حركة النمل إلى حالتها العادية التي كانت عليها.

وتثير هذه التجربة عدة تساؤلات، أولها يتعلق بالكيفية التي انتقل بها الإحساس بالخطر من النملة التي لمسناها إلى بقية النمل المحيط بها، وثانيهما يتعلق بالسبب في عدم اتساع دائرة الإحساس بالخطر ليشمل المستعمرة كلها، بينما ينصب ثالث هذه التساؤلات على الطريقة التي يعود بها الهدوء إلى النمل الذي أحس بالخطر، وعلى الكيفية التي يفهم بها النمل أن الخطر قد زال!

وقد تصور بعض العلماء أن عملية الإنذار بالخطر تنتقل من نملة إلى أخرى عن طريق ألمس، بمعنى أن النملة التي لمسنا ظهرها يصيبها الاضطراب فتندفع في طريقها لتصطدم بالنملة المجاورة لها التي تندفع هي الأخرى لتصطدم بغيرها، وتتكرر هذه الحالة مرات ومرات فيسري الاضطراب في مجموعة النمل المحيطة بالنملة الأصلية. كذلك اقترح علماء آخرون أن عملية انتقال الإنذار بالخطر تحدث عن طريق حركة قرون الاستشعار، فتقوم النملة التي تشعر بالخطر بالدق بقرون استشعارها بطريقة معينة على ظهور أفراد النمل المحيطة بها ثم تتكرر هذه الحالة من نملة إلى أخرى.

ولا تفي هذه الفروض بالرد على التساؤلات السابقة، فانتقال الإنذار عن طريق اللمس أو عن طريق الدق بقرون الاستشعار عملية آلية. ومن

المفروض أن كل نملة ستقوم بنقل هذا الإنذار إلى ما حولها، ويترتب على ذلك أن الإنذار بالخطر سينتقل بسرعة من نملة إلى أخرى حتى يشمل المستعمرة كلها، وهو ما يتنافى مع ملاحظاتنا السابقة من أن الإنذار بالخطر في حقيقة الأمر لا يتعدى، دائرة ضيقة، ويبقى محصورا دائما في القطاع الصغير المحيط بالنملة التي شعرت بالخطر.

ولا يصلح لتفسير هذه الظاهرة إلا أن نفترض أن النملة المضطربة أو الخائفة عندما تشعر بالخطر تقوم بإفراز مادة كيميائية من نوع خاص تنتشر في القطاع المحيط بها وتعطي الإنذار بالخطر لجميع أفراد النمل الموجودة بهذا القطاع. وقد أثبتت التجارب صحة هذا الفرض، وأن النملة التي تشعر بالخطر أو يصيبها الانزعاج من مؤثر خارجي، تقوم بإفراز مادة كيميائية خاصة من إحدى الغدد الموجودة بجسمها، وهي غدة أخرى خلاف الغدة التي تفرز مادة الأثر.

وقد تمكن العلماء من معرفة بعض مواد الإنذار التي يستخدمها النمل وتبين أنها مواد بسيطة التركيب وذات وزن جزيئي صغير، ومن أمثلتها السترال، والسترونيلال، والهبتانون، والدندرولاسين.

ومن الغريب أن هذه المواد أو المركبات الكيميائية لا أثر لها على الإنسان، ولا تثير فيه شيئا على الإطلاق، وهي تعتبر بالنسبة له مواد ذات رائحة زكيه ولا شيء أكثر من ذلك، بينما تحدث نفس هذه المركبات موجة من الهياج والذعر الهائل بين جموع النمل، بل هي تدفع مستعمرة من النمل إلى القيام بأعمال مذهلة في منتهى القسوة والعنف. ولعل هذا المثال يبين لنا الفرق الهائل بين إحساس الإنسان بما يحيط به، وبين شعور الحيوانات المختلفة بالعالم المحيط بها، ولعلنا لا نخطئ كثيرا إذا قلنا أن كلا منهما يعيش في عالمه الخاص.

وكما في حالة المواد الكيميائية المستخدمة في إحداث الأثر، فإن هذه المواد المستخدمة في الإنذار بالخطر تقوم بدورها بكفاءة عالية. وربما ساعدتنا التجربة التالية على إدراك مدى الكفاءة الفائقة التي تعمل بها مواد الإنذار: لو أننا أفرغنا محتويات غدة الفكين في شغالات النمل، وهي الغدد التي تحتوي على مواد الإنذار، في مكان منعزل خال من التيارات الهوائية، لوجدنا أن مادة الإنذار بالخطر الطيارة تبدأ في الانتشار تدريجيا

$$CH_3\ C(CH_3) = CH\ \ CH_2\ \ CH_2\ \ C(CH_3) = CH\ \ CHO$$

Citral ستral

$$CH_3\ C(CH_3) = CH\ \ CH_2\ \ CH_2\ \ CH(CH_3)\ \ CH_2\ \ CHO$$

Citronellal سترونيلال

$$CH_3\ CH_2\ CH_2\ CH_2\ CH_2\ C(=O)\ CH_3$$

Heptanone - 2 هبتانون - 2

CH_3 CH_2 CH_2 CH_3 C CH CH C CH_3 O CH_2 CH_2 CH CH_3

دندرولاسين

في الهواء الساكن لتشغل كرة في الهواء يبلغ قطرها حوالي ستة سنتيمترات في خلال مدة زمنية قصيرة لا تزيد على ثلاث عشرة ثانية، ولكن هذه الكرة من البخار لاتبقى طويلا، فهي تبدأ في الانكماش تدريجيا حتى تتلاشى نهائيا في مدة لا تزيد على خمس وثلاثين ثانية على الأكثر.

ويتضح من ذلك أن فترة الإنذار قصيرة جدا، وهي في أفضل الظروف، أي في الهواء الساكن، لا تزيد بأي حال من الأحوال عن نصف دقيقة، كما أن مداها قصير جدا، فإن أثرها لا يصل إلا للشغالات التي توجد على بعد ثلاثة سنتيمترات على الأكثر من مركز الإنذار.

وإذا درسنا الطريقة التي تنتشر بها هذه المواد لتبين لنا أن مادة الإنذار تتكون في الحقيقة من مادتين تشتركان معا في تكوين كرة البخار السابقة الذكر. وإحدى هاتين المادتين عبارة عن مادة سريعة التطاير، وهي تكون الطبقة الخارجية لكرة الانتشار، وتوجد عادة بتركيز منخفض نسبيا. أما المادة الثانية منهما فهي مادة الإنذار الحقيقية وتوجد وسط كرة الانتشار. وعلى ذلك فإن محتويات هذه الغدد عندما تبدأ في التبخر تعطي كرتين متداخلتين من البخار، بحيث تكون إحداهما داخل الأخرى، وتتكون الكرة الخارجية من المادة المتطايرة التي يبدو أن مهمتها الأساسية اجتذاب أفراد النمل إلى منطقة الاضطراب، بينما تتكون الكرة الداخلية من مادة الإنذار الحقيقية التي تحدث الأثر المطلوب.

ويتلاشى أثر المادة المسببة للإنذار بعد فترة قصيرة من إطلاقها لا تزيد على ثماني ثوان أو أكثر قليلا على حين يتلاشى تأثير المادة الجاذبة للنمل والتي تكون السطح الخارجي لكرة الانتشار بعد نصف دقيقة على الأكثر. وتعد هذه الخصائص العجيبة لمواد الإنذار إحدى المميزات الهامة التي تساعد أفراد النمل على تنظيم حياتها العادية، وذلك لأن مستعمرة النمل تتعرض يوميا لكثير من عوامل الإزعاج، ولو أن كرات الإنذار السابقة الذكر التي تطلقها أفراد الشغالات إذا صادفت ما يقلقها أو يخيفها كانت ذوات أقطار أكبر، أو كانت لها القدرة على البقاء في الجو مدة أطول، لعاشت مثل هذه المستعمرة في حالة دائمة من الذعر والاضطراب وعدم الاستقرار دون أن تكون هناك حاجة فعلية لذلك.

ونظرا لأن مواد الإنذار محلية التأثير، فان مثل هذا الاضطراب الجماعي لأفراد المستعمرة لا يحدث أبدا، بل يبقى الإنذار محليا ولا يغطي إلا المنطقة التي حدث بها ولا يستمر إلا لبضع ثوان فقط. ولنضرب لذلك المثال التالي: عندما تدخل إحدى الحشرات الغريبة أو المعادية في قطاع ما من مستعمرة النمل، فإن مادة الإنذار التي تطلقها الشغالات التي تقابل هذه الحشرة لا تنتشر إلا في القطاع المحيط بهذه الحشرة فقط، وبهذا لن يشعر بمادة الإنذار إلا الشغالات المحيطة بهذا القطاع، فتهب لنجدة زميلاتها وتقوم على الفور بمهاجمة الحشرة الدخيلة والقضاء عليها في بضع ثوان يكون قد ضاع خلالها أثر مادة الإنذار، فيعود الهدوء إلى هذا القطاع وكأن شيئا

لم يكن، دون أن تشعر بقية المستعمرة بالمعركة التي دارت في هذا القطاع، وتستمر أفراد المستعمرة في حياتها الطبيعية.

ويمكننا القول بأن مواد الأثر أو مواد الإنذار لا تزيد عن كونها إحدى مفردات لغة الكيمياء التي تتخاطب بها أفراد النمل وتتبادل المعلومات عن طريقها، وهناك كثير من الشواهد التي تدل على أن جموع النمل تستخدم بعض الإفرازات الكيميائية الأخرى في أغراض مشابهة، مثل الدعوة إلى تجمع سكان المستعمرة في مكان ما، أو الدعوة إلى تناول الغداء، أو العناية بالملكة، أو الاهتمام بصغار النمل غير الكاملة النمو إلى غير ذلك من الأعمال الأساسية التي يقوم بها النمل في حياته العادية.

ولا تقتصر عملية الإنذار على وجود خطر ما أو حشرة دخيلة، بل قد يكون هذا الإنذار دالا على حدوث حالة وفاة في المستعمرة، فحتى النمل الميت يطلق إنذارا خاصا بعد موته، وكأنه ينبه من بقي على الحياة من أفراد المستعمرة إلى أنه قد مات، ويدعوها إلى الإسراع في التخلص من جثته وإلقائها خارج المستعمرة.

ومن المدهش أن شغالات النمل ليس لديها ما يكفي من الإدراك للتفرقة بين الحي والميت، فلو أن نملة ماتت داخل المستعمرة لما عرفت الشغالات ذلك أبدا، ولما توقفت هذه الشغالات عن العناية بهذه النملة الميتة، بل تستمر في تقديم الخدمات الروتينية لها لمدة ما وكأنها ما زالت حية تسعى. وحتى المظاهر المصاحبة للموت مثل سكون النملة الميتة في مكانها وانقطاعها عن الحركة أو التواء جسدها في وضع الموت لا يلفت نظر هذه الشغالات ولا يسترعي انتباهها، ولا يؤثر في تصرفاتها على الإطلاق.

وقد لاحظ العلماء الذين انشغلوا بمراقبة سلوك النمل أن مثل هذه الشغالات قد تنخدع فترة ما ولا تعرف أن النملة المذكورة قد فارقت الحياة، وقد يستمر ذلك يوما أو يومين ولكننا نجد في نهاية هذه المدة تحولا ظاهرا في سلوك الشغالات تجاه هذه النملة الميتة، فيجتمع، عدد من هذه الشغالات حول جسد النملة الميتة ثم تقوم بحملها إلى خارج المستعمرة في موكب يشبه الموكب الجنائزي، وينتهي الأمر بإلقائها في المكان المخصص لوضع مخلفات المستعمرة.

وقد حار العلماء في تفسير هذه الظاهرة، فما الذي دفع الشغالات

فجأة لاتخاذ مثل هذا القرار الجماعي بإلقاء جسد النملة الميتة خارج المستعمرة؟ ولماذا جاء هذا القرار متأخرا؟ أي بعد يوم أو يومين من موت النملة! لا بد أن هناك تعليمات محددة أو أوامر خاصة قد صدرت إلى هذه الشغالات دفعتها للقيام بهذا العمل، فكيف صدرت هذه الأوامر؟

لقد تبين فيما بعد أن عملية التحلل الكيميائي لجسد النملة الميتة لا تبدأ إلا بعد انقضاء يوم أو يومين من وفاة هذه النملة، وأن عملية التحلل هذه هي التي تؤثر في الشغالات بطريقة ما وتنبهها إلى وفاة النملة وتدفعها إلى التخلص منها. وباستخدام طرق التحليل الكيميائي الحديثة اتضح أن عملية التحلل الطبيعية لجسد النملة الميتة، تؤدي إلى تكوين بعض الأحماض الدهنية الطويلة السلسلة واسترا تها، وأن هذه الاسترات هي التي تجذب الشغالات وتدفعها إلى إلقاء النملة الميتة خارج المستعمرة. وقد تم إثبات ذلك ببعض التجارب العلمية البسيطة، وعلى الرغم من أن أغلب التجارب العلمية تكون عادة جافة وجامدة، إلا أن هذه التجارب كان لها جانبها الفكه، بالإضافة إلى جوانبها العلمية الهامة.

فقد قام بعض الباحثين بفصل هذه المواد التي تنتج عن تحلل أجساد النمل الميت، ودهنوا جسد إحدى الشغالات السليمة بكمية قليلة منها، ثم وضعوا هذه الشغالة في وسط مستعمرة النمل. ولم يمض على ذلك بضع ثوان حتى اجتمع حول هذه النملة عدد من الشغالات العادية، وأمسكت الشغالات بهذه النملة المسكينة وقامت بحملها في موكب جنائزي مهيب لتلقى بها فوق تل المخلفات خارج المستعمرة رغم أنها حية مائة في المائة. والجانب الفكه في هذه التجربة أن هذه النملة المسكينة التي ألقيت عنوة خارج المستعمرة، لا تفهم ما حدث لها فتعود مرة أخرى، وبصورة تلقائية، إلى داخل المستعمرة. وهي تفعل ذلك دون تردد وكأن شيئا لم يحدث، ولكن الشغالات المجتهدات تشم رائحتها وتتعرف عليها، ولا تتركها أبدا، بل تجتمع حولها مرة أخرى وتقوم بحملها في نفس الموكب الجنائزي المهيب السابق لإلقائها خارج المستعمرة.

والعجيب في الأمر أن هذه العملية قد تتكرر مرات ومرات، فالنملة الحية السيئة الحظ تصر على العودة إلى المستعمرة، والشغالات الصبورات لا تتردد في حملها وإلقائها في الخارج في كل مرة تعود فيها، ويستمر ذلك

دون كلل حتى تتطاير رائحة الموت من جسد النملة المسكينة فتعود هذه المرة إلى المستعمرة دون أن تلقى أي مقاومة، ولا تقترب منها الشغالات الأخرى بعد ذلك أبدا، وكأنها لا تعرفها ولم ترها قبل ذلك، وتعود الأمور إلى طبيعتها وكأن شيئا لم يحدث! وقد دلت هذه التجربة على أن رائحة هذه المواد الكيميائية هي الشيء الوحيد الدال على حدوث الوفاة بالنسبة للشغالات حتى أننا يمكننا أن نصف رائحة هذه المواد بأنها رائحة الموت، وهي أول مرة نعرف فيها أن للموت رائحة.

ومما يؤكد صدق هذه التجربة، ويدل دلالة قاطعة على صحة هذا الاستنتاج، تلك التجربة الفريدة التي قام بها أحد العلماء الأذكياء حين وضع شظية من الخشب سبق غمسها في بعض هذه المواد، وسط مستعمرة النمل، فقد تبين له أن الشغالات النشيطات قد قامت في الحال بالالتفاف حول هذه الشظية الخشبية وحملتها في موكب مهيب لإلقائها خارج المستعمرة وقد دلت هذه التجربة دلالة قاطعة على أن الشغالات تتصرف بطريقة تلقائية محضة دون تفكير أو تدبير، فهي عندما تشم رائحة الموت، لا تلقى بالا إلى الجسد الذي تحمله، بل هي لا تفرق بين النملة الحية والنملة الميتة أو شظية الخشب، ويبدو أنها لا تهتم بهذه المسألة على الإطلاق، ولكنها بمجرد أن تستقبل بخار هذه المواد، تعتبر ذلك أمرا صادرا وتقوم بتنفيذه في الحال.

ولا يعرف الكثير عن الطريقة التي تعمل بها مثل هذه المواد التي تعطي الإنذار بالخطر أو تدل على الوفاة أو تهدي إلى الأثر ومكان الغذاء، ولكن هناك شواهد على أن شغالات النمل، تستقبل هذه المواد بقرون استشعارها في تجاويف خاصة، كما سنرى فيما بعد عندما نتكلم عن نظرية الشم أو الإحساس بالروائح.

ولا تعتبر هذه المواد هي المواد الكيميائية الوحيدة التي يستخدمها النمل، ولكن من المعتقد أن هناك ما يقرب من عشرة مركبات كيميائية أخرى يستخدمها النمل لتنظيم جميع الأعمال الأساسية والهامة في مستعمرته. وهي تكفي إما وحدها وإما على هيئة مخاليطها للقيام بهذا الغرض. ويعني هذا أن إفراز كل مادة على حدة قد يعني تكليفا أو أمرا محددا لإفراد الخلية كما أن مخاليطها بمختلف النسب يمكن أن تحمل أوامر أو تعليمات

أخرى لسكان المستعمرة.

ولا يقتصر استعمال هذه اللغة الكيميائية أو القاموس الكيميائي على مملكة النمل فقط، ولكنه يتعداها إلى كثير من أنواع مملكة الحيوان الأخرى، فقد بينت البحوث الحديثة أن أفراد خلية النحل تستعمل هي الأخرى لغة الكيمياء لتبادل المعلومات وتنظيم شئون الخلية. وقد كان من المعروف حتى وقت قريب أن النحل يعتمد على الحركات والإشارات في تبادل المعلومات فتقوم النحلة مثلا بتقديم رقصة خاصة للدلالة على أماكن تجمع الرحيق، كما تقدم رقصة أخرى للإشارة إلى موقع الخلايا الجديدة، ولم يكن يعرف عن النحل استخدامه للغة الكيمياء في مثل هذه الأغراض.

ومع ذلك فقد بينت المراقبة المستمرة لخلايا النحل أن هناك بعض الحالات الخاصة التي تستعمل فيها لغة الكيمياء داخل الخلية، ومثال ذلك المادة الكيميائية التي تفرزها ملكة النحل لتنظيم دورة التكاثر في الخلية، وهي تفرز هذه المادة من غددها الفكية. وعندما تتناول شغالات النحل هذه المادة تتوقف على الفور عملية نمو المبايض في جسدها، كما تفقد كذلك قدرتها على بناء الخلايا الملكية التي تتربى فيها ملكات النحل، مما يساعد الملكة على إحكام سيطرتها على خليتها. وقد أمكن فصل هذه المادة الكيميائية التي تفرزها ملكة النحل كما أمكن معرفة تركيبها الكيميائي، واتضح أنها عبارة عن مركب عضوي بسيط من فصيلة الأحماض الكيتونية ويمكن أن نرمز له بالصيغة الكيميائية التالية:

$$CH_3 - CO\,(CH_2)5 - CH = CH - COOH$$

كذلك تبين أن ملكة النحل قد تقوم باستخدام هذه المادة في أغراض أخرى، فهي تستخدمها أحيانا أثناء طيران العرس لاجتذاب الذكور نحوها. وليست هذه المادة هي المادة الوحيدة التي يستخدمها النحل في تنظيم شئونه، فقد تبين أن هناك مواد أخرى تستخدم في شتى الأغراض، ومن أمثلتها مادة «الجرانيول» التي تطلقها شغالات النحل ضمن إفرازات غددها البطنية عند عثورها على مصدر جديد للطعام.

$$CH_3 - \underset{}{\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}} = CH - CH_2 - CH_2 - \overset{CH_3}{\overset{|}{C}} = CH - CH_2 - OH$$

Geraniol جرانيول

وعندما تنطلق هذه المادة من غدد الشغالات تنتشر في الهواء المحيط بالخلية فتقوم باجتذاب عدد كبير من الشغالات الأخرى نحو مصدر هذا الطعام، وبذلك تعتبر هذه المادة مكملة لرقصة النحل المشهورة الدالة على مصدر الرحيق. ومن الطريف أن مادة «الجرانيول» تنتمي إلى مجموعة الكحوليات العضوية التي توجد طبيعيا ضمن مكونات الزيوت الطيارة لكثير من الزهور، وهي توجد مثلا ضمن مكونات زيت الورد وهي تتصف برائحتها الذكية، التي تماثل رائحة الورود والزهور.. وبذلك فإن النحلة التي تعثر على الرحيق عندما تطلق هذه الرائحة الذكية أمام أفراد الخلية الآخرين. فكأنها تقول لهم هذه عينة من الرحيق الذي عثرت عليه!!

وهناك بعض المواد الأخرى التي تستخدم في دفع العدوان ومقاومة الدخلاء، فقد لوحظ أنه عند تدخل أحد الغرباء في مملكة النحل تقوم بعض الشغالات القريبة بالتصدي لهذا الدخيل في الحال، وتبدأ في مهاجمته ولدغه بعنف حتى يموت. ولا شك أن هذا إجراء دفاعي طبيعي، ولكن الشيء المدهش أن مئات الشغالات الأخرى تأتي مندفعة من كل حدب وصوب، وتقوم بمهاجمة هذا الدخيل بمنتهى العنف، وهي تستمر في لدغه بنفس العنف والقوة لمدة ما، حتى ولو كان العدو قد مات من أول لدغة. هذه الحقيقة يعرفها كل المهتمين بتربية خلايا النحل، فما أن تبدأ نحلة في لدغ صاحب الخلية حتى تندفع نحوه مئات من أفراد الخلية الآخرين للاشتراك في لدغه بكل عنف وقسوة، فما السبب في ذلك؟ وما هي الرسالة التي يتلقاها أفراد النحل الآخرون؟

لقد اتضح أن الشغالات الأولى التي تقوم بمهاجمة الدخيل إنما تفعل أمرين في وقت واحد، فهي تضع السم في جسد الدخيل عند لدغه كي تقتله، كما تضع في جسده كذلك قدرا ضئيلا جدا من إفراز خاص له قدرة هائلة على اجتذاب مئات من الشغالات. وتتلخص مهمة هذا الإفراز الأخير بإحداث حالة من الهياج بين الشغالات التي تحس به، ودفعها لمداومة اللدغ في المكان الذي وضع فيه هذا الإفراز، وبذلك تستمر عملية اللدغ في جسد الدخيل الميت حتى تتلاشى أبخرة هذا الإفراز. ويمثل هذا الإفراز طلبا للنجدة عند جموع النحل، فهي عندما تضعه في جسد الدخيل إنما تستنجد بغيرها للقضاء على هذا الدخيل، ولا شك أن هذا يمثل أكبر ضمان يمكن

أن يتخذه النحل للقضاء على الدخلاء بصورة جماعية منظمة وللحفاظ على كيان خليته. وقد تم فصل هذا الإفراز من غدد شغالات النحل، واتضح عند تحليله أنه مركب عضوي بسيط التركيب من مجموعة الاسترات العضوية ويعرف باسم آسيتان الأيسوإميل.

$$\begin{matrix} CH_3 \\ \quad\diagdown \\ \quad\quad CH - CH_2 - CH_2 - O - CO - CH_3 \\ \quad\diagup \\ CH_3 \end{matrix}$$

iso-amyl acetate أسيتات الأيسوإميل

وتشبه رائحة هذا المركب رائحة الموز في أنف الإنسان، ولا توجد لدينا وسيلة بطبيعة الحال، لمعرفة رائحة هذا المركب عند النحل. ولكننا عندما نقوم بتحضيره في المعمل، ثم نضع قطرة صغيرة منه على قاعدة النافذة، نجد أنها تجتذب مئات من شغالات النحل من كل مكان. ومن المدهش أن أبخرة هذه المادة تسبب ارتفاعا هائلا في ضغط الدم عند الإنسان، وربما كان أثرها على أفراد النحل مختلفا تمام الاختلاف، ولكن الشيء المؤكد أن أبخرة هذه المادة تستطيع أن تستفز جموع النحل وتدفعها للقيام بأعمال غاية في العنف والقسوة.

ومن المعتقد الآن أن الإفراز الذي يفرزه النحل لهذا الغرض لا يحتوي على هذه المادة فقط، بل يحتوي كذلك على مادة أخرى من مواد الإنذار، وأن هاتين المادتين يعملان معا لاجتذاب شغالات النحل ودفعها إلى القيام بعملية اللدغ المستمر.

3 جاذبات الجنس

تعتبر جاذبات الجنس من أهم المواد الكيميائية التي يستخدمها أفراد مملكة الحيوان. ومن المعروف أن مثل هذه المواد تفرزها بعض إناث الحشرات لاستمالة الذكور، وهذه المواد نوعية التأثير وتؤثر على الجهاز العصبي المركزي فقط.

وقد تمكن العلماء من فصل مجموعة من هذه المركبات واستطاعوا معرفة تركيبها الكيميائي وتبين أن أغلبها بسيط التركيب، فمنها ما يتركب من سلاسل منبسطة مثل ذلك الحمض الكيتوني الذي تقدم ذكره والذي تفرزه ملكة النحل لاجتذاب الذكور أثناء طيران العرس، أو مثل المادة المعروفة باسم «البومبيكول» التي تفرزها فراشة دودة الحرير silkworm moth أو مادة «الجيبلور» التي تفرزها فراشة الجيبسي «Gypsy moth».

$$CH_3 - (CH_2)_2 - CH = CH - CH = CH\ (CH_2) - 9OH$$

Bombykol بومبيكول

$$CH_3 - (CH_2)_5 - CH - CH_2 - CH = CH\ (CH_2) - 6OH -$$

$$OC - O - CH_3$$

Gyplure جيبلور

كما أن بعض هذه المواد قد يكون حلقي التركيب ولكنها ما تزال صغيرة الحجم بسيطة التركيب مثل

مادة «السيفيتون» أو «المسكون»التي يقوم غزال المسك بإفرازها أو مثل مركب «2: 2 - ثنائي مثيل - 3 ايسوبر وبيل يدين سيكلوبروبيل بروبيونات» الذي تفرزه أنثى الصرصور الأمريكي لاجتذاب الذكور.

$(CH_2)_7$ — CO — $(CH_2)_7$ — CH = CH (ring)

Civetone سيفيتون

CH_2 — CO — $(CH_2)_{12}$ — CH_2 CH (ring)

Muskone مسكون

$(CH_3)_2C = C$ — $C(CH_3)_2$ — CH (cyclopropyl) — O CO CH_2 CH_3

2 : 2 - Dimethyl - 3 - isopropy lidine - cyclopropyl Propionate

وجدير بالذكر أن اثنين من هذه المركبات وهما «المسكون» و «السيفيتون» كانا معروفين منذ زمن طويل على أنهما من الروائح المميزة لبعض الحيوانات الثديية مثل غزال المسك، وكان يظن أنها تؤدي وظيفة جنسية لدى هذه الحيوانات، أو على الأقل تلعب دورا ما في عمليات الاتصال بين ذكور هذه الحيوانات وإناثها وإن لم يعرف ذلك الدور على وجه التحديد.

ويرجع الاهتمام بالمواد الجاذبة للجنس إلى أسباب اقتصادية بحتة فقد اتجه فكر بعض العلماء إلى الاستفادة منها في القضاء على بعض أنواع الحشرات التي تضر بالمحاصيل الزراعية أو إلى استخدامها على الأقل في السيطرة على تكاثر مثل هذه الآفات والحد من انتشارها للتقليل من أضرارها وما تسببه من خسائر اقتصادية فادحة لمختلف المحاصيل.

ومن الطريف أن منظمة الصحة العالمية قامت بعمل إحصاء على المستوى الدولي عن أثر الحشرات على صحة الإنسان وعلى غذائه، وتبين من هذه الإحصائية أن الحشرات تعتبر مسئولة بطريقة غير مباشرة عن نصف وفيات الإنسان وإصابات العجز التي تلحق به، كذلك اتضح أن الحشرات

تدمر ما يقرب من ثلث الكمية التي يزرعها الإنسان أو يضعها في مخازنه كل عام. إحصائية مخيفة لاشك، ولكنها تمثل الحقيقة على كل حال، وهي تبين بوضوح مدى الاحتياج الشديد للقضاء على هذه الحشرات بأنواعها المختلفة.

وقد استخدمت في هذا المجال أنواع متعددة من المواد الكيميائية التي تستطيع إبادة مثل هذه الحشرات وتم إنتاج العديد منها في السنوات الأخيرة وعرفت باسم المبيدات الحشرية. وقد اتضح أن الحشرات لا تستسلم بسهولة أمام هذه المبيدات كما تصور البعض، بل هي عادة تقاوم الأثر القاتل لهذه المركبات بطرقها الخاصة جدا، فهي قد تكتسب بالتدريج نوعا من المناعة ضد بعض هذه المبيدات، وقد تزداد هذه المناعة من جيل لآخر بمرور الزمن حتى تصل في نهاية الأمر إلى حد يضطر معه الزارعون الذين يقاومون هذه الحشرات إلى زيادة جرعات هذه المبيدات وتركيزها في محاولة للتغلب على هذه المناعة.

ولا شك أن زيادة جرعات المبيدات وتركيزها يزيد من أضرار هذه المواد الكيميائية إلى حد كبير، ولكن يبدو أن المزارعين، في حربهم الضارية ضد هذه الحشرات المتأقلمة، لا يأبهون كثيرا لهذه الأضرار، بل يطلبون بإلحاح شديد إنتاج أنواع جديدة من هذه المبيدات تكون أكثر قوة وفعالية من سابقاتها. ويقابل هذا الطلب الملح من جانب الزارعين بمزيد من التحذير من جانب السلطات الصحية التي تطلب الإقلال من استخدام هذه المبيدات، وتحذر من مخاطر الإفراط في استخدام المواد الكيميائية في إبادة الآفات وتنبه إلى الآثار الضارة لمخلفاتها التي تتجمع في الماء وفي الطعام.

ويحضرنا في هذا المقام بعض الأخطار التي نجمت عن استخدام بعض المبيدات الحشرية في جمهورية مصر العربية للقضاء على دودة ورق القطن بمادة التو كسافين، وكيف أدى ذلك في بعض الحالات إلى ظهور نوع من التسمم بين الماشية وبين الإنسان. وحتى الطيور والأسماك لم تعد في منجاة من ضرر هذه المبيدات، بل وكثيرا ما نسمع عن تسمم المياه وتسمم الطعام. ونحن لا نستطيع، مهما كانت أضرار هذه المبيدات، أن نستغني عنها أو نترك استخدامها، فإننا لو تراجعنا عن استخدامها، ولو لفترة قصيرة، لأدى ذلك إلى أو حسم العواقب ولانتشرت الحشرات بطريقة

مخيفة ولقضت على عشرات من المحاصيل الاقتصادية التي يعتمد عليها الإنسان في حياته.

ويجد علماء الكيمياء وعلماء الحشرات أنفسهم في ملتقى نيران الطرفين، فأحد الطرفين-وهم المزارعون-يطلب المزيد من المبيدات القوية التأثير، بينما يطالب الطرف الآخر-وهي السلطات الصحية-بالحد من استخدام مثل هذه المبيدات القوية التأثير والتي تؤدي على المدى الطويل إلى الإضرار بالنبات وبالحيوان وأحيانا بالإنسان. وعلى الرغم من التعارض الواضح بين هذين المطلبين فقد تمكن العلماء من التوصل إلى حل وسط يحقق مطالب كل من الطرفين على قدر الإمكان. لقد فكر العلماء في استخدام المواد الجاذبة للجنس التي تطلقها إناث الحشرات في هذا الغرض حيث تقوم هذه المواد باجتذاب ذكور هذه الحشرات التي يمكن تجميعها في مكان واحد. فإذا جهز هذا المكان على هيئة مصيدة أمكن القضاء على هذه الحشرات بمبيد حشري قوي دفعة واحدة.

ولا شك أن هذه الطريقة تفوق كثيرا تلك الطريقة التقليدية والمعتادة التي تستخدم فيها المبيدات بطريقة الرش. فمثل هذا الأسلوب الذي يتضمن رش المبيدات بطريقة اعتباطية وعلى أوسع نطاق ليغطي أكبر مساحة ممكنة من الحقول، يؤدي إلى تلوث البيئة كما أنه يتسبب في قتل الحشرات الضارة والنافعة معا دون تمييز.

وتقل هذه الأخطار كثيرا عند استخدام المواد الجاذبة للجنس، فهي عادة تستعمل في حيز محدود جدا، مما يترتب عليه استخدام كميات صغيرة جدا من المبيد الحشري في هذا النطاق فقط الذي تتجمع فيه ذكور الحشرات. كذلك فإن المواد الجاذبة للجنس نوعية التأثير إلى حد كبير، وعلى هذا فإن استخدام المادة الجاذبة للجنس لأحد الأنواع لا يترتب عليه إلا استدعاء ذكور هذا النوع من الحشرات فقط، بينما لا يتأثر به ذكور الحشرات الأخرى، وتتيح لنا هذه الخاصية أن نتمكن من القضاء على نوع معين من الحشرات الضارة دون أن نمس حياة الحشرات النافعة الأخرى على الإطلاق.

ويتضح من ذلك أنه إذا أجيد استخدام المواد الجاذبة لبنس في مقاومة الآفات فإن معركة الإنسان مع الحشرات الضارة ستكون أكثر كفاءة وأقل

تكلفة بالإضافة إلى أن الأثر السام للمبيدات سيصبح محليا إلى حد كبير مما يؤدي إلى التقليل من خطر تلوث البيئة بنسبة عالية. وربما كانت أصب المراحل في هذه الطريقة هي كيفية التوصل إلى معرفة المادة التي تجذب نوعا معينا من الحشرات، ثم استحداث طريقة يمكن بها الحصول على قدر كبي من هذه المادة إذا استخدمنا جاذبات الجنس الطبيعية بحيث يمكن استخدامها في القضاء على الحشرات على أوسع نطاق.

ويعود الفضل في كل ما حصلنا عليه من تقدم في هذا المجال إلى العالم الفرنسي «فابر» الذي عاش في القرن التاسع عشر فقد قام هذا العالم بإجراء تجربة رائدة كانت هي رأس الحربة في تقدم العلم في هذا المضمار، وهي التي فتحت أوسع الأبواب أمام هذا الفرع من العلم. فقد قام هذا العالم بوضع فراشة إحدى الحشرات التي تتغذى على أوراق أشجار البلوط في قفص من القماش، ثم وضع هذا القفص بجوار النافذة في منزله. وقد لاحظ «فابر» أنه خلال بضع ساعات تجمع حوالي 60 ذكرا من ذكور هذا النوع من الحشرات حول القفص المحتوي على الأنثى وكان هناك نداء خفيا قد استطاع استحضار كل هذا العدد من الذكور.

وقد أثارت هذه الظاهرة الغريبة دهشة هذا العالم إلى حد كبير وذلك لأن هذا النوع من الفراشات يعتبر نادرا ويصعب الحصول عليه أو حتى رؤيته في الحقول فما الذي أدى إلى دعوة كل هذا العدد الكبير من ذكور هذه الحشرة التي اندفعت من كل حدب وصوب وكأن الأرض قد انشقت عنها، وما الذي جعلها تحوم حول هذا القفص المحتوي على الأنثى! ولم يستطع «فابر» أن يفسر هذه الظاهرة وظن في أول الأمر أن هذه الذكور قد استطاعت أن ترى الأنثى وهي داخل القفص. وأراد أن يتأكد من ذلك فوضع الأنثى في تجربة أخرى داخل قفص محكم من الزجاج لعل ذلك يساعد على دعوة عدد أكبر من الذكور إذا استطاعت رؤيتها من وراء الزجاج ا لشفاف.

وقد دهش هذا العالم لأن التجربة لم تنجح هذه المرة، فعلى الرغم من وضوح الأنثى داخل القفص الزجاجي إلا أنه لم يتجمع هذه المرة العدد المطلوب من الذكور بل لم يحم ذكر واحد حول هذا القفص وكأنه لا وجود للأنثى بداخله على الإطلاق. ولم يخطر ببال «فابر» أن رائحة الأنثى هي

التي تجتذب الذكور، ففي الحالة الأولى كان القفص مصنوعا من القماش مما سمح بانتشار رائحة الأنثى في الجو المحيط بالقفص في حين أنه في الحالة الثانية تسبب القفص الزجاجي المحكم في منع رائحة الأنثى من الانتشار ولذلك لم تحس بها الذكور على الإطلاق.

ويبدو أن رائحة الأنثى كانت على درجة عالية من النفاذ حتى أنه عندما قام «فابر» بإخراج الأنثى من القفص استمر عدد كبير من الذكور في التجمع حول القفص الخالي رغم أنه كانت هناك بالحجرة التي أجريت بها التجربة بعض الروائح النفاذة الأخرى مثل دخان الطباق ورائحة النفتالين ورائحة كبريتيد الهيدروجين التي تشبه رائحة البيض الفاسد.

وقد قام «فابر» بتكرار هذه التجارب مع بعض الحشرات الأخرى وكانت نتيجة هذه التجارب متشابهة إلى حد كبير. وعلى الرغم من أن النتيجة المباشرة لهذه التجارب تدل دلالة واضحة على أن الأنثى تقوم باجتذاب الذكور عن طريق رائحة خاصة بها تطلقها في الهواء المحيط بها، إلا أن «فابر» لم يستطع أن يقبل هذه الفكرة بل اعتقد أن الإناث تقوم بإطلاق نوع خاص من الإشارات تنتقل في الهواء على هيئة ذبذبات خاصة يستطيع الذكر أن يستقبلها بواسطة قرون استشعاره فيستجيب لها، وقد برهن «فابر» على اقتراحه بأن الذكور التي أزيلت قرون استشعارها نادرا ما كانت تعثر على الأنثى.

ولا شك أن العالم الفرنسي «فابر» كان مصيبا فيما ذهب إليه من افتراضه أن قرون الاستشعار هي المكان الذي يستقبل الرسالة ويتلقاها، ولكنه اخطأ في نفيه أن تكون هذه الرسالة قد انتقلت عن طريق الرائحة. وقد تحقق العلماء فيما بعد من صحة هذا الافتراض بعد أن قاموا بعشرات من التجارب وتبين لهم أن ذكور الحشرات تستطيع أن تشعر بهذه الرائحة التي تطلقها الإناث مهما كانت كميتها ضئيلة ومهما كانت المسافة التي تفصل بينها كما سنرى فيما بعد.

وقد بدأ استخدام المواد الجاذبة للجنس كسلاح ضد الحشرات عندما حاول العلماء مقاومة نوع معين من الفراش يطلق عليه اسم «فراش الجيبسي». فقد قام أحد الفرنسيين عام 1869 بإحضار هذه الحشرة إلى الولايات المتحدة لكي يزاوج بينها وبين فراشة دودة القز لإنتاج نوع جديد

من دود الحرير يستطيع أن يعيش ويتأقلم في أجواء الولايات المتحدة. ولم تكلل جهود هذا الرجل بالنجاح، بل الأدهى من ذلك أن بعض هذه الفراشات الجديدة قد استطاعت أن تفر منه واتجهت إلى الحقول المجاورة وبدأت في التكاثر بشكل هائل حتى أصبحت وباء يهدد جميع المزروعات والمحاصيل في ولاية نيوانجلاند، فقد انتشرت هذه الحشرة في جميع مزارع هذه الولاية الأمريكية وراحت تتغذى بكل شراهة على أوراق الأشجار وعلى المحاصيل دون تمييز، مما كلف هذه الولاية من الخسائر ما قدر بملايين الدولارات.

وقد تطلب هذا، القيام بحملة مكثفة للقضاء على هذه الآفة باستخدام المبيدات الحشرية، ولكن صادفت القائمين على هذا الأمر مشكلة كبرى كانت تتعلق بخطر استخدام هذه المبيدات على نطاق واسع وما يمكن أن تسببه من تلوث. وقد دفع هذا بعض العلماء إلى الإسراع في إجراء مزيد من الدراسات والبحوث في مجال استخدام المواد الجاذبة للجنس. وقد احتاجت هذه الدراسة إلى جهد كبير وإلى عمل متواصل عظيم القدر، فقد بدأت هذه الدراسات بمحاولات مضنية للتعرف على هذه المواد وتعيين تركيبها الكيميائي، ثم محاولة فصلها بكميات مناسبة تصلح للاستخدام على نطاق كبير، ثم انتهت بمحاولات لتركيب هذه المواد معمليا من مواد كيميائية أبسط منها حتى يمكن استخدامها بطريقة اقتصادية.

ويمكننا أن نستدل على مقدار الجهد الذي بذل في مثل هذه الدراسات إذا تصورنا أن فصل قدر ضئيل من مادة البومبيكول الذي تستخدمه دودة الحرير كمادة جاذبة للجنس لا يزيد عن 12 مليجراما (حوالي 0,012 من الجرام) يحتاج إلى اصطياد حوالي ربع مليون فراشة من هذا النوع كذلك يحتاج الأمر إلى اصطياد نصف مليون فراشة من إناث فراش الجيبسى لاستخلاص قدر ضئيل، من مادة الجيبلور التي تستخدمها في اجتذاب الذكور، لا يزيد عن 20 مليجراما (حوالي 0,020 من الجرام).

والسبب في الاحتياج لهذا العدد الهائل من إناث الفراشات، أن الفراشة الواحدة لا تعطي إلا قدرا متناهيا في الصغر من هذه المواد لا يزيد عن 0,01 من الميكروجرام (الميكروجرام يساوي جزءا من عشرة آلاف جزء من الجرام)، أي أن الفراشة الواحدة لا تعطي إلا حوالي جزء من مليون جزء

من الجرام وهو ما يقل عن جزء من مليون جزء من الوزن الكلي للفراشة نفسها.

وقد تم فصل المواد الجاذبة للجنس من الحشرات بقتلها ثم استخلاصها بالبنزين، ويتلو ذلك فصل محتويات هذه المستخلصات بالطريقة الكروماتوجرافية. وفي هذه الطريقة توضع إحدى المواد ذات النشاط السطحي في عمود خاص، ثم تصب هذه المستخلصات على قمة هذا العمود فتتحرك مكوناتها المختلفة بسر عات متباينة على المادة النشيطة وبهذا يمكن فصل هذه المكونات كل على حدة في مكان خاص من هذا العمود.

وقد استخدم العلماء الأمريكيون طريقة أخرى أكثر يسرا وسهولة عند فصل المادة الجاذبة للجنس من أنثى الصرصور الأمريكي، فقد قام هؤلاء العلماء بوضع إناث الصرصور في أوان محكمة الغلق ثم أمروا تيارا من الهواء داخل هذه الأواني ليحمل معه كل ما يتبخر من هذه الإناث، ثم ترك تيار الهواء المحمل بهذه الأبخرة ليمر في مكثفات خاصة مبردة إلى درجة حرارة تقل عن الصفر المئوي حيث تحولت الأبخرة التي يحملها الهواء إلى سائل أمكن جمعه فيما بعد.

وقد تمكن العلماء بهذه الطريقة البسيطة من «حلب»-إذا جاز لنا أن نستخدم هذا التعبير-عدد كبير من إناث الصرصور الأمريكي بلغ حوالي 10000 من هذه الإناث في فترة لا تزيد على تسعة أشهر لتعطي حوالي 12 مليجراما (0,012 من الجرام) من المادة الجاذبة للجنس في حالة نقية. ولا شك أن هذه التجارب تبين مدى العناء الذي يلقاه العلماء في عملهم كما تدل على مدى المثابرة الهائلة التي يتمتعون بها.

وتبلغ قوة هذه المواد الجاذبة للجنس الواحد حدا هائلا ومذهلا يصعب تصديقه فلو أن 10000 جزء فقط من مادة البومبيكول، وهو قدر متناه في الصغر، سمح لها بالانتشار من مصدر يبعد سنتيمترا واحدا عن قرون استشعار أحد ذكور فراشة دودة الحرير لاهتزت هذه القرون في الحال ولبدا عليها رد فعل خاص. ولو أننا أخذنا في الاعتبار قدرة هذه المواد على التطاير وسرعتها في الانتشار فإنه يمكن أن نتصور أن أقل تركيز محسوس من هذه المواد يمكن أن يؤثر في الذكر حتى أن تركيزا ضئيلا جدا لا يزيد

على بضع مئات من الجزيئات من هذه المواد في السنتيمتر الواحد قد يجتذب الذكر، بل ربما كان التركيز الفعلي الذي يستطيع أن يؤثر في الذكر أقل من ذلك بكثير.

ويترتب على ذلك أن نتصور أن ذلك القدر الصغير من المادة الجاذبة للجنس الذي يوجد في أنثى الفراش يعتبر كافيا جدا لاجتذاب أكبر عدد من الذكور، فمثلا ذلك القدر الضئيل من مادة الجيبلور التي توجد بأنثى الفراش الواحدة والذي لا يزيد على جزء واحد من مليون جزء من الجرام (0,01 ميكروجرام) يكفي، نظريا لو وزع بكفاءة تامة، لجذب اكثر من ألف مليون من ذكور هذا الفراش. وقد أجريت تجربة عملية في هذا المجال بينت أن أنثى واحدة من هذا النوع من الفراش عندما وضعت في قفص من السلك معرض للهواء، قد استطاعت أن تجتذب أحد عشر ألفا من ذكور هذا الفراش، ولا شك أن هذا الرقم يعتبر مثيرا للدهشة إلى حد كبير، ولكنه يدل دلالة واضحة على القوة الخارقة التي لهذه المواد الكيميائية وأثرها الفعال في جذب الذكور.

وتستخدم الأنثى هذه القدرة الهائلة التي لهذه المواد في الإعلان عن نفسها في مساحة كبيرة دون الحاجة إلى بذل طاقة كبيرة في هذا الشأن. وتستطيع أبخرة هذه المواد الانتشار في مساحات ضخمة فيمكن لبخار المادة الجاذبة للجنس الذي تطلقه الفراشة عند هبوب رياح متوسطة القوة أن يمتد موازيا لسطح الأرض لمسافة تزيد على الكيلومتر، كما أن عرض هذا التيار من بخار المادة قد يصل إلى 200 متر.

ويتضح من ذلك أن أبخرة المادة الجاذبة للجنس تستطيع أن تغطي مساحة هائلة قد تصل إلى 200000 من الأمتار المربعة وهي مساحة غاية في الضخامة بالقياس إلى الكمية الضئيلة من هذه المادة التي تفرزها الأنثى الواحدة وكذلك بالمقارنة مع الحجم الصغير للأنثى نفسها. وقد أثارت هذه الحقيقة دهشة الكثيرين حتى أن أحد العلماء المشهورين لم يستطع أن يصدق أن الأنثى الواحدة، الضئيلة الحجم، تستطيع أن تعلن عن نفسها في مثل هذه المساحة الهائلة، وقال قولا مشهورا في هذا المجال «هل يمكن أن نتوقع أن نصبغ بحيرة من البحيرات بقطرة واحدة من صبغ احمر فستكارمين» !

وقد تبين لنا الآن خطأ ذلك العالم في إنكاره وان كنا نتفق معه في ذلك التشبيه الرائع الذي عبر به عن هذه الظاهرة. والآن وقد علمنا أن أنثى الفراشة تستطيع أن تعلن عن نفسها في مثل هذه المساحات الهائلة، فإن لنا أن نتساءل كيف يستطيع الذكر الذي يشم هذه الرائحة الضعيفة في الهواء أن يحدد الاتجاه الذي توجد فيه الأنثى حتى يطير إليها... !

وقد تصور البعض أن الذكر يستطيع أن يطير في الاتجاه الذي تتزايد فيه الرائحة، ولكن تبين أن هذا غير صحيح فقد اتضح أن المادة الجاذبة للجنس تتوزع في الهواء بانتظام تام بعد أن تبتعد عن الأنثى بعدة أمتار حتى أن كثافتها أو تركيزها يصبح ثابتا على طول المدى الذي تمتد فيه هذه الرائحة. وقد بينت التجارب التي أجريت في هذا المجال أن الذكور تفعل الشيء المنطقي المنتظر منها في مثل هذه المناسبة، فهي تطير بكل بساطة وبطريقة تلقائية في الاتجاه المضاد للاتجاه الذي تهب منه الريح، وبذلك فإنها تطير دون تفكير أو وعي في اتجاه الأنثى.

ولو أن الذكر أخطأ الطريق وطار لسبب من الأسباب خارج النطاق الذي تنتشر فيه الرائحة، فانه إما أن يتخلى عن البحث عن الأنثى مضطرا وينطلق إلى حال سبيله، وإما أن يطير في اتجاهات مختلفة بطريقة اعتباطية حتى يتسنى له أن يلتقط الرائحة مرة أخرى. ولا شك أنه عندما يقترب الذكر من الأنثى ويصبح على مسافة معقولة منها فانه سيحس بأن هناك زيادة متوسطة في كثافة الأبخرة أو في شدة الرائحة وهي تزيد تدريجيا كلما اقترب منها أكثر فاكثر، وتكون هذه الزيادة النسبية في تركيز المادة الجاذبة للجنس دليلا كافيا لهداية الذكر إلى مكان الأنثى.

ولا تصلح المادة الجاذبة للجنس التي لأحد أنواع الحشرات لاجتذاب ذكور نوع آخر، وذلك لأن لكل جنس من الفراش مواده الخاصة به، وهذا أمر طبيعي، فلا معنى لأن تقوم المادة الجاذبة للجنس التي تطلقها إحدى الإناث باجتذاب ذكور جنس آخر طالما لا تستطيع ذكور هذا الجنس تلقيح هذه الأنثى المخالفة لها في النوع.

وبتحليل أغلب المواد الجاذبة للجنس اتضح أنها جميعا تتركب من جزيئات كيميائية متوسطة الحجم يقع وزنها الجزيئي وسطا بين 180 و 300. ويرى علماء الكيمياء أن السبب في تكون هذه المواد من جزيئات متوسطة الحجم

يعود إلى أن الجزيئات الصغيرة بشكل عام والتي يقل وزنها عن 100 لا يمكن تشكيلها في صور مختلفة، بمعنى أنه لا يمكن تحضير أنواع متعددة منها، ولذلك لا يمكن استخدامها كعلامات مميزة للأنواع المختلفة من الحشرات.

وقد اتضح أن قدرة المادة الجاذبة للجنس تزداد كلما زاد وزنها الجزيئي، أي كلما كبر حجم الجزيئي وزاد عدد الذرات المكونة له. فمثلا وجد أن مضاعفة الوزن الجزيئي لبعض الاسترات العضوية التي جربت على أنواع من الذباب أدى إلى زيادة قدرة هذه المواد على جذب الذكور إلى حوالي ألف ضعف! وعلى الرغم من أن زيادة الوزن الجزيئي تساعد على زيادة قدرة المادة الجاذبة للجنس إلا أننا نجد أن الحشرات لا تستخدم مواد ذات جزيئات كبيرة تزيد في وزنها الجزيئي عن 300 كما ذكرنا من قبل. ولعل السبب في ذلك أن أجسام هذه الحشرات لا تستطيع أن تقوم بتركيب هذه الجزيئات الكبيرة بسهولة، كما أن كبر حجم هذه الجزيئات ينتظر أن يؤدي إلى الإقلال من قابليتها للتطاير ويؤثر بالتالي على قدرتها على الانتشار.

ويمكننا إذا أن نستنتج أن الوزن الجزيئي لمواد الإنذار لا بد أن يكون أقل بكثير من الوزن الجزيئي للمواد الجاذبة للجنس، وذلك لأن مواد الإنذار تحتاج إلى الانتشار السريع في نطاق محدود داخل الخلية أو داخل المستعمرة. ولهذا كان لا بد أن تكون جزيئاتها صغيرة الحجم إلى حد ما. أما بالنسبة للمواد الجاذبة للجنس فإن كبر حجم الجزيئات يساعد على الانتشار البطيء، كما يساعد على البقاء في الهواء لفترة أطول وذلك لأن هذه المواد تعمل في الهواء الطلق وفي مجال غير محدود.

ولا بد أن نطرح عند هذا الحد تساؤلا هاما...! هل استخدام هذه المواد الكيميائية في عمليات الاتصال وتبادل المعلومات وقف على الحشرات فقط أم أن الإنسان يستخدمها هو الآخر...!

ويمكن الإجابة على هذا التساؤل بذكر تلك التجربة الهامة التي قام بها أحد العلماء الفرنسيين والتي وجد فيها أن هناك خلافا رئيسيا بين الجنسين في الإنسان في القدرة على شم رائحة بعض المواد الكيميائية. فهناك مركب كيميائي يعرف باسم «اكزالتولايد» «Exaltolide» وهو عبارة عن لاكتون حمض 14- هيدروكس تترادیكانويك، ويتميز برائحته الخاصة ويستخدم عادة مثبتا في صناعة العطور. وقد أجرى هذا العالم تجربة فريدة على

هذا المركب واختار لتجربته عددا كبيرا من الذكور والإناث من مختلف الأعمار واختبر فيهم قدرة كل منهم على الإحساس برائحة المركب السابق.

وقد اتضح من هذه التجربة أن هناك خلافا واضحا في قدرة كل من الإناث والذكور على تمييز هذه الرائحة. ففي حين استطاعت الإناث البالغات والسيدات تمييز رائحة هذا المركب، لم يستطع الرجال أو الذكور بصفة عامة التعرف على هذه الرائحة. كذلك لاحظ ذلك العالم أن الفتيات الصغيرات كن أشبه بالذكور في هذا المضمار، ولم تستطع إحداهن أن تميز رائحة هذا المركب. كذلك لاحظ ذلك العالم أن حساسية السيدات لهذا المركب تزداد بشكل واضح عند اقتراب دورة نشاط المبيض كما أن حساسية الذكور لرائحة هذا المركب تزيد كثيرا عند حقنهم بالهرمون الأنثوي «ألا ستروجين».

وتدل هذه التجربة دلالة واضحة على مدى أثر الجنس في الإنسان على حساسية الفرد تجاه رائحة هذا المركب، وهي تدل كذلك على أنه قد يكون هناك كثير من المواد الكيميائية التي يمكن أن تؤثر على فسيولوجية الإنسان وإن كنا لا نعرف ذلك حتى الآن على وجه التأكيد.

ويبدو من كل ما تقدم أننا ما زلنا على أول الطريق فيما يتعلق بموضوع أثر المواد الكيميائية على فسيولوجية الحيوان وسلوكه بوجه عام، وكذلك فيما يتعلق بالطريقة التي تستخدم بها هذه المواد في تبادل المعلومات. ويشبه موقفنا اليوم في هذا المجال موقف علماء اللغة الذين يقومون بدراسة لغة جديدة لا يعرفون منها إلا بضع كلمات مفردة، وهو موقف عسير ولا شك، ولكن غموض هذه اللغة الجديدة وإبهامها لن يصمد كثيرا أمام المحاولات العلمية الجادة وأمام مثابرة العلماء.

ومن المعتقد أنه لن يتيسر لنا أن نجد إجابات شافية لهذا الموضوع إلا إذا تم التوصل إلى طرق أداء جديدة في مجال الكيمياء التحليلية حتى يمكن أن تساعدنا هذه الطرق على التعرف على الكميات الضئيلة جدا من مثل هذه المواد الكيميائية التي تستخدمها الكائنات الحية في عمليات الاتصال وتبادل المعلومات، على أن يصحب ذلك كله تقدم محسوس في معلوماتنا الخاصة بدراسة سلوك الحيوانات تحت مختلف الظروف.

وحتى مع التقدم المنتظر في الاتجاهات المذكورة، فإن الأمور لا تبدو

دائما بهذه البساطة، فقد تبين مثلا أن إناث فراشة الحشرة التي تعيش على القمح في أوروبا تستطيع أن تجتذب الذكور وتتزاوج معها، مهما كانت ندرة هذه الذكور وقلة عددها مما يدل على أن الرائحة التي تطلقها الأنثى على درجة عالية من القدرة على الانتشار والتطاير.

وعندما وضعت هذه الفراشة في أحد الأقفاص ووضعت تحت المراقبة تبين أنها لم تفعل شيئا على الإطلاق لاجتذاب الذكور، وقد كانت هذه الملاحظة الغريبة شيئا فريدا يستعصي على الفهم، فكيف يمكن لهذه الأنثى أن تجتذب الذكور وهي تطير في الحقول بينما هي لا تفعل ذلك بعد أن وضعت في القفص، وكأنها بذلك ترفض التزاوج وهي في الأسر!!

وعندما وضعت هذه الأنثى تحت المراقبة المستمرة ليلا ونهارا تمكن العلماء من فهم هذا السلوك الغريب. لقد تبين من مراقبة هذه الأنثى الأسيرة ليلا بواسطة الأشعة تحت الحمراء أنها لا تتزاوج إلا عند هبوط الظلام، وهي لا تفعل ذلك إلا في أوقات محددة فيما بين الساعة الحادية عشرة والساعة الرابعة صباحا وهي لذلك لا تطلق المادة الجاذبة للجنس إلا في هذا الوقت فقط. ولهذا فإن الذكور لا تأتي لزيارة الأنثى إلا بعد منتصف الليل! عندما تشم المادة الجاذبة للجنس.

ولا يتوقف إصدار مثل هذه الروائح على الإناث فقط، فقد اتضح أن بعض ذكور الفراش تطلق رائحة خاصة بها عند اقترابها من الإناث وكأنها تفعل ذلك لاغراء هذه الإناث واجتذابها. وتقوم هذه الذكور بإفراز هذه الرائحة في أغلب الحالات من غدد خاصة تقع تحت الأجنحة حيث تساعد حركة الأجنحة السريعة على نشر هذه الرائحة حول الأنثى. ولا يحدث هناك خلط بين رائحة الأنثى ورائحة الذكر، فان رائحة الأنثى تنتشر على نطاق واسع وتقوم بجذب الذكور إلى أماكن تجمع الإناث، أما رائحة الذكر فلا تطلق إلا بعد عثوره على الأنثى وطيرانه حولها.

ويعن لنا هنا أن نسأل... هل يستطيع الإنسان أن يحس برائحة جاذبات الجنس التي تطلقها بعض إناث الحشرات! لقد تبين من عشرات التجارب التي أجريت في هذا المجال أن أنف الإنسان قد استطاع التمييز بين كثير من روائح المواد الجاذبة للجنس التي تطلقها بعض الذكور لإغراء الإناث بينما فشل الإنسان في الإحساس برائحة المواد الجاذبة للجنس التي تطلقها

الإناث لاستدعاء الذكور. ولا يعرف بعد السبب في ذلك ولكن من استطاعوا التعرف على الرائحة التي تطلقها الذكور وصفوها أحيانا برائحة الأناناس وأحيانا أخرى برائحة الشكولاته أو رائحة زيت الليمون أو رائحة الزهور.

ومن الجدير بالذكر أن إحدى الروائح التي تفرزها ذكور بق الماء التي تعيش في بعض المناطق الحارة لا يمكن شمها فقط، بل يمكن رؤيتها وفصلها وجمعها، فهي عبارة عن سائل صاف شفاف ذي رائحة عطرية جميلة تشبه رائحة القرفة. وقد دعا هذا بعض سكان جنوب شرق آسيا إلى استعمال هذا السائل مثل بقية التوابل. ومن الطريف أن أحد العلماء الألمان قد تمكن من فصل هذه المادة في حالة نقية وقام بتحليلها ثم تعرف على تركيبها، وقد اتضح أنها مادة بسيطة التركيب تعرف باسم «تر انس-2 هكسينايل آسيتان» وتمكن من تحضيرها في المعمل من مواد كيميائية بسيطة، ثم تولت إحدى الشركات بعد ذلك بيع هذه المادة المخلقة معمليا في جنوب آسيا وما زالت تباع هناك حتى الآن.

ونظرا للاحتياج الشديد لبعض هذه المواد الجاذبة للجنس لاستخدامها في مقاومة الآفات، وقلة ما يمكن فصله منها طبيعيا من إناث الحشرات بحيث لا تصلح للاستخدام على نطاق واسع، فقد فكر بعض العلماء المهتمين بهذا الموضوع في اختيار بعض المواد الكيميائية المعروفة والمخلقة معمليا واختبارها لعل بعضا منها يمكن استخدامه للقيام بنفس مهمة المواد الجاذبة للجنس، وحينئذ يمكن تحضير هذه المواد التي اجتازت الاختبار بكميات وافرة تصلح للاستخدام الحقلي.

وقد تم اختبار ما يزيد على ألفين من هذه المركبات الكيميائية المعملية في محاولة للعثور على بديل لمادة الجيبلور وهي المادة التي تطلقها إناث فراش الجيبسي كما سبق أن بينا، واتضح من هذه التجارب أن بعض الكحوليات المستقيمة السلسلة والتي تتكون من عدد قليل من ذرات الكربون تستطيع أن تجتذب ذكور فراشة الجيبسي إلى حد ما. ولم يقم العلماء بهذه التجارب اعتباطا، بل فصلوا أولا مادة الجيبلور الطبيعية من إناث فراش الجيبسي ثم عرفوا تركيبها وتمكنوا من تحضيرها معمليا ومحاكاتها.

ولا يستطيع العلماء عادة مقاومة الإغراء الذي يدفعهم أحيانا للتنافس مع الطبيعة ومحاولة التحسين عليها أو الإضافة إليها، وقد فعلوا ذلك في

هذه الحالة فقاموا بتقصير سلسلة الجيبلور من ست عشرة ذرة من الكربون إلى أربع عشرة ذرة فقط حتى يكون المركب الجديد الناتج أكثر تطايرا . مما قد يجعله اكثر قوة ونفاذا .

ولم تنجح هذه المحاولة فقد تبين أن المركب الناتج لم يساعد على اجتذاب ذكور فراشة الجيبسي، إلا أن البحث المتواصل أدى إلى اكتشاف مركب آخر له نفس تركيب المادة الطبيعية وإن زاد عليها بذرتين من ذرات الكربون، أي أن سلسلته تتكون من ثماني عشرة ذرة من ذرات الكربون، وقد اتضح أن هذا المركب له نفس قدرة المركب الطبيعي وهو الجيبلور، وإن كان الأول أيسر في التحضير لمشابهته لأحد مكونات زيت الخروع الموجود طبيعيا، ولهذا فإن هذا المركب الجديد المحتوي على ثماني عشرة ذرة من الكربون هو المركب المستخدم حاليا في جذب ذكور حشرة الجيبسي وفي مقاومة هذه الآفة على نطاق واسع.

وهناك كثير من المواد الكيميائية الأخرى-بخلاف المواد الجاذبة للجنس- التي استعملت في اجتذاب الحشرات مثل بعض المواد الغذائية كمحاليل السكر والمواد النشوية وقطع الخيار وشرائح الموز وغيرها، كما استخدمت بعض المواد الكيميائية البسيطة مثل كربونات النشادر التي تستطيع اجتذاب إناث حشرة الذباب المنزلي. وقد استخدمت بعض هذه المواد الكيميائية البسيطة وغيرها من المواد التي تستطيع اجتذاب الحشرات في مقاومة بعض الآفات، وذلك بعد خلطها بمبيد حشري سريع التأثير، ووضعها في مصايد خاصة تتجمع فيها هذه الحشرات.

وعلى الرغم من نجاح العلماء في استنباط مركبات جديدة تستطيع اجتذاب الحشرات فستظل المواد الجاذبة للجنس الطبيعية هي أكثر المركبات الكيميائية قدرة وأشدها فعالية لأعوام قادمة.

4 نظرية الشم

حاسة الشم هي إحدى الحواس الهامة التي يتعرف بها الكائن الحي على البيئة التي يعيش فيها. وتبلغ هذه الحاسة حدا من القوة عند كثير من الحيوانات، وهي تخطرها باقتراب الفريسة أو تنذرها بوقوع الخطر، وتعوض النقص في قوة الإبصار عند بعضها، كما في حالة الفيل، كلما تستخدمها الخفافيش في اكتشاف الأشجار المحملة بالثمار أثناء طيرانها فوق قمم هذه الأشجار. وتختلف قوة هذه الحاسة من كائن لآخر، فهي ضعيفة نسبيا عند الإنسان وقوية عند الحشرات، فقد رأينا مقدار حساسية ذكور الفراشات لرائحة المواد الجاذبة للجنس، وقد تصبح هي الحاسة الرئيسية عند الحيوان كما في حالة الكلاب التي تبلغ عندها قوة حاسة الشم حوالي ثلاثمائة مرة قدر قوتها عند الإنسان.

وبالرغم من أن حاسة الشم عند الإنسان أضعف منها بكثير عند بقية الحيوان فان أنف الإنسان يستطيع أن يميز بين كثير من الروائح المحيطة بنا، فهو قد يستقبل رائحة الزهور الجميلة فتثير فينا النشوة والابتهاج كما أنه قد يستقبل الروائح العفنة أو الكريهة فتثير فينا الامتعاض والاشمئزاز، ولا

ندري كيف يستطيع الأنف أن يفعل ذلك! وأنف الإنسان مستعد دائما لاستقبال مختلف الروائح، مهما كانت طبيعتها، فالأنف مفتوح على الدوام، يدخل فيه الهواء مع كل شهيق حاملا معه عشرات من الأبخرة والروائح.

وعندما يدخل الأنف تيار من الهواء، يقوم الأنف بتدفئة هذا الهواء حتى تصل درجة حرارته إلى ما يقرب من درجة حرارة الجسم، وتقوم بهذه المهمة مجموعة من الحواجز المغطاة بنسيج مخاطي غني بالشعيرات الدموية، وهي تقع في التجويف الأنفي فوق سقف الحلق. ويمر الهواء بعد ذلك فوق منطقة حساسة تتجمع فيها نهايات أعصاب الشم وتعرف عادة باسم منطقة الشم، وهناك تتلامس الأبخرة التي يحملها الهواء مع أطراف الأعصاب، التي تحس بطريقة ما بالجزيئات ذات الرائحة، فترسل نبضات خاصة إلى بصيلات الشم، ثم إلى المخ. وهناك تترجم هذه النبضات إلى الإحساس بالروائح التي نعرفها.

وعلى الرغم من الدور الهام الذي تلعبه الروائح في حياتنا اليومية، فنحن لا نعرف عنها الشيء الكثير، فمثلا لا توجد لدينا وسيلة بسيطة لوصف هذه الروائح، وكل ما يمكننا أن نفعله أن ننسب هذه الروائح إلى أصولها أو إلى منابعها التي تنبعث منها، فنقول إن هذه الرائحة هي رائحة الزهور، أو رائحة الفاكهة، أو رائحة النعناع وهكذا. كذلك ليست لدينا الوسيلة التي نقيس بها قوة هذه الروائح أو نعين بها مقدارها. وعلى الرغم من أننا استطعنا أن نجد وحدات خاصة لقياس شدة الضوء وابتكرنا وحدات أخرى لقياس حدة الصوت، إلا أننا حتى الآن لم نجد الوسيلة التي تصلح لقياس شدة الرائحة وتعيين مقدارها.

ويستطيع الأنف وأعصاب الشم أن تتعرف على أنواع متعددة من الروائح، وهي عندما تفعل ذلك، فهي تميز في الحقيقة بين مئات من أصناف الجزئيات الكيميائية المسببة للرائحة بمنتهى اليسر، والتي لا يستطيع الكيميائي المتدرب التعرف عليها، تحت الظروف المعتادة، إلا بعد جهد جهيد. كذلك تستطيع بعض أجهزة الشم عند بعض الكائنات الحية أن تميز بين مختلف الروائح حتى ولو كانت هذه الروائح على درجة عالية من التخفيف، فهناك بعض الحيوانات التي تستطيع أن تشم هذه الروائح وتميز بينها حتى إذا بلغ تخفيفها إلى جزء من عشرة ملايين جزء من الجرام.

وهذا التركيز يقل كثيرا عن التركيز الذي تستطيع أن تحس به أحدث أنواع أجهزة التحليل وأكثرها دقة.

وقد حاول الإنسان منذ القدم أن يقدم تفسيرا للطريقة التي تعمل بها حاسة الشم عند مختلف الكائنات، وربما كان الشاعر «لوكريتس» هو أول من قدم شرحا مبسطا لتفسير حاسة الشم. فقد افترض «لوكريتس» أن سقف الحلق في الإنسان يحتوي على عدد من الثقوب الدقيقة المتنوعة الأشكال والحجوم، وأن إحساسنا بالرائحة يحدث عندما تستطيع المواد المتطايرة أن تدخل في هذه الثقوب طبقا لأحجامها، كذلك اقترح أن نوع الرائحة التي نحس بها إنما يتوقف على نوع الثقب الذي تدخل فيه كل مادة.

وعلى الرغم من أن هذا التصور الذي وضعه، «لوكريتس» لتفسير حاسة الشم كان تصورا غريبا، وبدائيا إلى حد كبير، إلا أنه الآن، وبعد مضي ألفي عام، يعتبر صحيحا إلى حد كبير! لقد تبين من كثير من التجارب التي أجريت في هذا المجال في السنوات الأخيرة، أن حجم الجزيئات وشكلها في الفراغ هما أهم العوامل التي تحدد نوع الرائحة التي تثيرها فينا هذه الجزيئات، وأقيمت إحدى النظريات على هذه الأسس لتفسير حاسة الشم عند مختلف الكائنات. وقبل أن نتكلم عن هذه النظرية الجديدة، لا بد أن نعرف شيئا ما عن الصفات الرئيسية الواجب توفرها في المواد التي تعطي روائح مميزة يمكن الإحساس بها.

إن أول ما يجب أن تتميز به هذه المواد، هو أن تكون قابلة للتطاير في حدود معقولة، ويعني ذلك أن تكون لهذه المواد بعض الأبخرة التي تستطيع أن تصل إلى أجهزة الشم. فنحن نشعر مثلا برائحة الطعام لأن هذا الطعام يعطي بعض الأبخرة غير المرئية التي تنفذ إلى منطقة الشم، وهناك تتلامس مع أطراف الأعصاب التي تملأ هذه المنطقة. أما إذا كانت المادة غير قابلة للتطاير، بمعنى أنها لا تعطي ما يكفي من الأبخرة، فإنها لن تعطينا الإحساس بالرائحة أبدا وقد تعودنا أن نصف مثل هذه المواد بأنها عديمة الرائحة. والأمثلة على هذه المواد كثيرة ومتعددة، فالقلم الذي نكتب به، والورق والفلزات، واللدائن وغيرها، مواد عديمة الرائحة، ولا نستطيع أن نميز بينها أو بين أنواعها المختلفة عن طريق الشم.

وينبني على ذلك أنه كي نشعر بالرائحة، فلا بد أن يصل بخار المادة إلى الأنف، وأن يكون تركيز هذا البخار مناسبا حتى يستطيع أن يؤثر في منطقة الشم. ولا يكفي أن تصل أبخرة المادة إلى منطقة الشم، بل يجب أن تقبل هذه الأبخرة الذوبان في الماء، ولو في حدود ضيقة جدا، وذلك حتى تذوب جزيئاتها في طبقة الماء الرقيقة المحيطة بأطراف أعصاب الشم وتتفاعل معها. ولا يشترط أن تذوب المادة بوفرة في الماء، مثل السكر أو الملح، بل يكفي أن تذوب بعض جزيئاتها في الماء كي يحدث التلامس بينها وبين نهايات الأعصاب. وقد تتميز بعض المواد المسببة للرائحة بقدرتها على الذوبان في الدهون، وتعطيها هذه الخاصية ميزة كبرى، فهي تساعدها على اختراق طبقة الدهن الرقيقة التي تتكون منها جدران أغلب الخلايا وتسمح لها باختراق أطراف أعصاب الشم.

وبخلاف هاتين الخاصتين، وهما قابلية المادة للتطاير وقابليتها للذوبان، فلا نعرف شيئا عن الخواص الأخرى للمواد المسببة للرائحة، وإن ظن البعض أن هناك علاقة ما بين التركيب الكيميائي للجزيئات وما تثيره فينا من إحساس بالرائحة. وقد قام الكيميائيون بتخليق مئات من المواد الكيميائية في المعامل تحقيقا لهذا الظن، ولكن هذه المواد الجديدة والمخلقة لم تساعدنا كثيرا، بل أضافت كثيرا من الإبهام إلى هذا الرأي، وبينت أنه لا توجد علاقة دائمة بين التركيب والرائحة، وأن الصفات العطرية لأي مادة لا تعتمد على تركيبها الكيميائي بل يبدو أنها تعتمد على عوامل أخرى غير ذلك.

وقد اتضح فيما بعد أن ترتيب الذرات المكونة للجزيئات، وهو ما يعطيها شكلها العام، ونطلق عليه عادة اسم الشكل الفراغي للجزيئات، هو العامل الأساسي في منح هذه الجزيئات رائحتها المميزة، بينما لا يمثل تركيبها العام بتفاصيله الدقيقة شيئا هاما في هذا المجال. والشكل الفراغي لكل جزء لا يتغير مهما تعددت طرق تحضيره، ففي كل مرة يتكون فيها هذا الجزء، تترتب فيه الذرات بنفس الأسلوب، ولهذا نجد للجزء الواحد أو المادة الواحدة رائحة ثابتة لا تتغير.

وفي عام 1949 تقدم العالم الاسكتلندي مونكريف R. W. Moncrieff باقتراح نظرية جديدة لتفسير الطريقة التي تعمل بها حاسة الشم في الكائنات

الحية. وقد جاء هذا الاقتراح مشابها في إطاره العام لذلك الغرض الذي تقدم به «لوكر تيس» منذ ألفي عام وقد تضمنت هذه النظرية أن أطراف أعصاب الشم بها أنواع من الخلايا المتخصصة المعدة لاستقبال أبخرة المواد، وأن بكل خلية موقعا نشيطا محدد الشكل لا يستطيع أن يستقبل من الجزيئات إلا ما يتفق شكله وحجمه مع شكل وحجم هذا الموقع. وعند حدوث هذا التداخل بين أحد الجزيئات والموقع النشيط، ترسل إحدى النبضات إلى المخ للدلاله على الرائحة. وتوصف الرائحة في هذه الحالة بأنها رائحة أولية. وتشبه هذه الفكرة إلى حد كبير طريقة «العاشق والمعشوق» التي يستخدمها النجار لتثبيت بعض الأجهزة الخشبية في البعض الآخر دون الحاجة إلى استعمال المسامير.

ولتحديد معنى الرائحة الأولية، قام أحد العلماء (جون آمور John E. Amoore بجامعة أوكسفورد) بحصر مئات من المواد التي نعرفها والتي تتميز بروائحها الخاصة. وقد اتضح أنه يمكن عمليا تصنيف هذه المواد إلى سبع مجموعات رئيسية، بحيث تشترك كل مجموعة منها في رائحة واحدة، وأطلق على هذه الروائح السبع اسم «الروائح الأولية» أو «الروائح الأساسية». وقد وجد هذا العالم أن هناك ما يزيد على مائة مركب لها رائحة الكافور ولذلك اعتبرت رائحة الكافور رائحة أولية لتكرار ظهورها بين كثير من المركبات، على حين اعتبرت رائحة خشب السدر رائحة ثانوية لأنها لا تتكرر إلا بين عدد قليل من المركبات والمواد لا يزيد على عشرة. ومن المعتقد أن الرائحة الثانوية تنشأ عن اختلاط رائحتين أوليتين أو أكثر، ولهذا فهي نادرا ما تتكرر.

وقد تم حصر الروائح السبع الأولية بصورة إجمالية كما يلي:

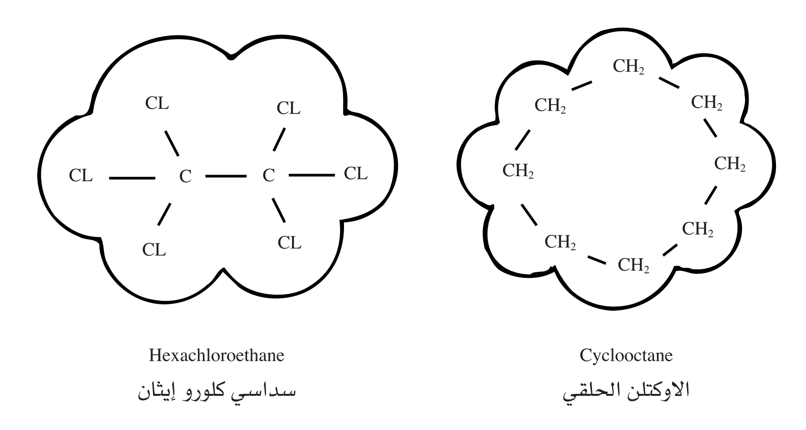
رائحة الكافور - رائحة المسك-رائحة الزهور - رائحة النعناع - رائحة الاتير - رائحة نفاذة - رائحة عفنه.

ومن الطبيعي أنه بمزج بعض هذه الروائح معا، يمكن تكوين عدد كبير من الروائح الطبيعية الأخرى، وهي التي نسميها طبقا لهذه النظرية بالروائح الثانوية، وتتوقف طبيعة كل رائحة ثانوية على عدد الروائح الأولية المشتركة في الخليط، ونسبة كل منها فيه. وقد ساهمت هذه النظرية إلى حد كبير في تبسيط الأمور، فقد كنا نتصور أن هناك أعدادا لا نهائية من الروائح،

ولكنها استطاعت أن تحصر كل هذه الروائح الطبيعية في عدد قليل من الروائح الأساسية أو الأولية، ومنها يمكن اشتقاق كل أنواع الروائح الأخرى. ولا غرابة في ذلك، فنحن نستخدم نفس هذه الفكرة في مجال الألوان، فجميع الألوان التي نراها، مهما اختلفت، يمكن اشتقاقها من ثلاثة ألوان أولية، هي الأحمر والأخضر والأزرق.

وتقتضي هذه النظرية أن تكون هناك سبعة مواقع استقبال في نهاية الأعصاب بمنطقة الشم يتخصص كل منها في استقبال الجزيئات المسببة لإحدى الروائح الأولية. وللتحقق من صحة هذه النظرية، ولإثبات أن الرائحة تعتمد أساسا على شكل الجزء وحجمه، أجريت بعض الدراسات الخاصة على عدد كبير من المركبات التي تعطينا الإحساس برائحة الكافور، والتي يزيد عددها على مائة مركب.

لقد اتضح من هذه الدراسات أنه بالرغم من اشتراك كل هذه المركبات في رائحة واحدة وهي رائحة الكافور، إلا أنه لا يوجد هناك تشابه بينها في تركيب جزيئاتها، بل كانت في الحقيقة تنتسب الى مجموعات مختلفة تمام الاختلاف من مجموعات الكيمياء العضوية. ويمكننا توضيح ذلك بمقارنة مركب الاوكتان الحلقي، بمركب سداسي كلورو الايثان:



Hexachloroethane
سداسي كلورو إيثان

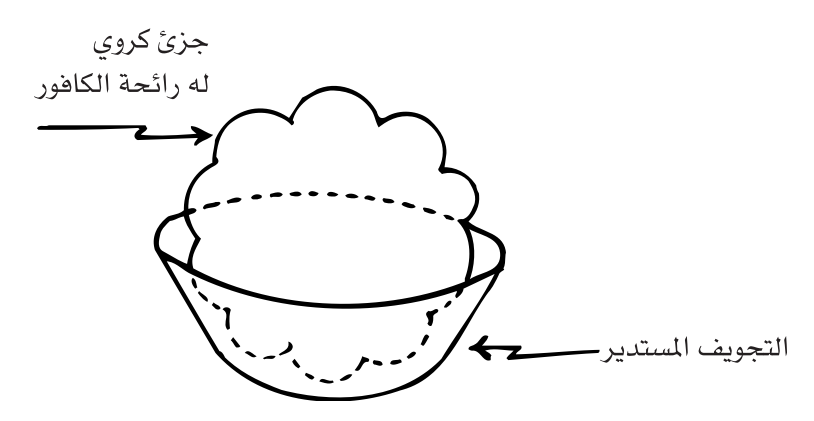
Cyclooctane
الاوكتلن الحلقي

ويتبين من الصيغة الجزئية لهذين المركبين أنهما يختلفان كل الاختلاف في التركيب، فالأول منهما هدر وكربون لا يحتوي جزيئه إلا على ذرات الكربون والهدروجين، والثاني منهما مركب هالوجيني يحتوي على ست

ذرات من الكلور مرتبطة بذرتين من الكربون. وبالرغم من الاختلاف الكبير في تركيب هذين المركبين، فإنهما يشتركان في رائحة واحدة تشبه رائحة الكافور، ولا بد أن هناك عاملا آخر مشتركا بينهما يؤدي إلى هذا التشابه في الرائحة.

وعند بناء النماذج التي تمثل الشكل الفراغي لهذه الجزيئات وبعض الجزيئات الأخرى التي تشبه رائحتها رائحة الكافور، تبين أنها تتشابه في شكلها الفراغي الى حد كبير، فقد بدت كل هذه الجزيئات على هيئة كرة تكاد تكون كاملة الاستدارة، كما تشابهت كذلك في أحجامها، فقد كان متوسط أقطارها لا يزيد على سبعة انجشتروم. (الانجشتروم يساوي جزءا من مائة مليون جزء من السنتيمتر).

وتطبيقا لهذه النظرية، لا بد أن يكون التجويف المخصص لاستقبال هذه المواد مستدير الشكل يشبه الوعاء، ولا يزيد قطره على سبعة (انجشتروم).



كذلك فإن جميع الجزئيات الكروية الشكل لا بد أن تكون لها رائحة الكافور. وقد تبين صحة هذا الفرض تماما فكانت جميع المواد ذات الجزيئات الكروية الشكل، لها نفس الرائحة وتشبه رائحة الكافور إلى حد كبير.

وبتطبيق هذه النظرية على بقية المواد المسببة للرائحة، تبين أن جميع الجزيئات التي تشترك في رائحة أولية واحدة تكون جزيئاتها متشابهة في الشكل والحجم، ومثال ذلك جميع المواد التي تعطينا الإحساس برائحة

المسك كانت جزيئاتها مشابهة للقرص في شكلها العام ومتقاربة في حجمها الكلي، ولا تزيد أقطارها على حوالي ١٥ (انجشتروم). كذلك وجد أن جميع المواد التي تعطي رائحة الزهور، كانت جزيئاتها متشابهة في شكلها الفراغي وتشبه قرصا مستديرا تتصل بأحد جوانبه ذراع صغيرة تجعله أشبه ما يكون بالمقلاة التي تستخدمها ربة البيت.

وينبني على ذلك أنه لا بد أن يكون هناك تجويف في منطقة الشم يشبه القرص لتتداخل فيه الجزيئات التي تعطي رائحة المسك، وان يكون هناك تجويف آخر يشبه المقلاة لتتداخل فيه الجزيئات المسبب لرائحة الزهور وهكذا. وقد نجحت هذه النظرية البسيطة حتى الآن في تفسير جميع الحالات التي نعرفها وإن كانت هناك بعض الحالات الأخرى التي تشذ قليلا عن هذه القاعدة.

ومن أمثلة هذه الحالات بعض المواد التي يمكن لها أن تعطينا الإحساس برائحتين، وعند دراسة الشكل الفراغي لجزيئات هذه المواد تبين أن جزيئاتها تستطيع أن تتداخل في التجويف الكروي فتعطينا الإحساس برائحة الكافور مثلا، كما أنها قد تستطيع في بعض الأحيان التداخل في بعض أوضاعها الخاصة في تجويف آخر، فتعطينا الإحساس برائحة أخرى. ولا يعتبر ذلك خروجا على هذه النظرية، بل يعتبر تأكيدا لها، فقد استطاعت أن تفسر لنا بعض الروائح المزدوجة التي تعطيها بعض المواد المعروفة.

أما فيما يتعلق بالروائح النفاذة، أو الروائح العفنة، فقد تبين أن جزيئات المواد المسببة لمثل هذه الروائح متباينة في التركيب ومتنوعة في أشكالها الفراغية وبذلك يصعب تصنيفها في مجموعات خاصة كما فعلنا مع بقية الروائح. وقد اتضح فيما بعد أن الشكل الفراغي لجزيئات هذه المواد لا يمثل العامل الأساسي في الإحساس بالرائحة، بل إن الشحنة الكهربائية التي تحملها هذه الجزيئات هي السبب الرئيسي في ظهور الرائحة. فجميع المواد ذات الرائحة النفاذة تتصف بأن جزيئاتها إما أن تحمل شحنة موجبة أو تكون لها القدرة على اجتذاب الإلكترونات، في حين أن المواد ذات الرائحة العفنة إما أن تحمل جزيئاتها شحنة سالبة، أو تكون لها القدرة على منح الإلكترونات.

ولا تعتبر هذه النظرية صحيحة بالنسبة للإنسان فقط، ولكنها تصلح

للتطبيق كذلك بين أفراد مملكة الحيوان. فالنمل-وكذلك النحل-يستقبل الرسائل الكيميائية على قرون الاستشعار ويتأثر بها في الحال، مما يدل على أن قرون الاستشعار في هذه الحشرات تحتوي على تجاويف خاصة تتداخل فيها الأبخرة، كل في تجويفه الخاص، فمواد الأثر تتداخل في تجاويف معينة، ومواد الإنذار في تجاويف أخرى، ومن هنا كانت نوعية أثر هذه المواد.

كذلك يتضح لنا على الفور نوعية المواد الجاذبة للجنس في الحشرات، وذلك لاختلاف أشكال التجاويف المستقبلة لهذه المواد في كل نوع، ولذلك لا يتأثر أحد الأنواع بالمواد الجاذبة للجنس المتطايرة من نوع آخر. كذلك سبق لنا أن بينا أنه من المستبعد أن تستطيع الحشرات تعلم لغة بعضها الآخر، وتؤكد لنا هذه النظرية استحالة ذلك، لأن استقبال اللغة الكيميائية إنما يتم في تجاويف خاصة، ويصعب علينا أن نتصور أن تتغير أشكال هذه التجاويف وأحجامها في أحد الأنواع، لتشبه تجاويف نوع آخر، فان هذا يعني تغييرا كاملا لنوع الحشرة.

وحاسة الشم حاسة رئيسية عند مختلف الكائنات، وهي تعتبر مكملة لحاسة التذوق، بل إن حاسة التذوق تعتمد على الشم كل الاعتماد. ونحن لا نعرف من الطعوم إلا أربعة أنواع هي: الحلو، والمر، والمالح، والحمضي. وهذه الأنواع الأربعة لا تكفي لوصف مئات الأنواع من الأطعمة وطعومها المختلفة التي نحس بها كل يوم، ولكن حاسة الشم تتولى استكمال إحساسنا بالطعم فهي المسئولة عن 90٪ تقريبا من حاسة التذوق. ولعلنا جميعا نتذكر أننا لا نحس بطعم المأكولات عند إصابتنا بالزكام، وأننا كنا نسد أنوفنا ونحن صغار بمسكها بأصابع اليدين حتى لا نشعر بطعم «شربة» الدواء، وذلك كي نمنع مرور الهواء المحمل بأبخرة هذه «الشربة» على منطقة الشم فلا نحس برائحتها وبالتالي لا نحس بطعمها.

وتناولنا للطعام عبارة عن عملية مزدوجة، فعند خلط الطعام باللعاب في الفم تتصاعد منه بعض الأبخرة الطيارة وتتجه إلى مؤخرة الأنف من الداخل، وهناك تتلامس هذه الأبخرة مع نهايات الأعصاب في منطقة الشم، ونحن بذلك لا نتذوق الطعام فقط، بل نشمه كذلك أثناء عملية المضغ.

ولا شك أن المعلومات التي تستطيع حاسة الشم أن تقدمها للمخ عن الطعام تزيد كثيرا على المعلومات الواردة إليه عن طريق التذوق، وذلك لأن حاسة الشم تستطيع أن تميز بين آلاف من الروائح الأولية والثانوية وغيرها. وتتعاون هاتان الحاستان معا في نقل المعلومات المطلوبة إلى المخ بلغة الكيمياء.

5 لغة الكيمياء داخل الأجساد الحية

رأينا في الأبواب السابقة أن بعض أفراد الكائنات الحية قد استطاعت أن تتبادل الأخبار والمعلومات فيما بينها بإطلاق بعض المواد الكيميائية في الهواء كما في حالة مواد الأثر ومواد الإنذار وجاذبات الجنس. ولا يقتصر استعمال الرسائل الكيميائية عل الحالات التي ذكرناها فقط، ولكن هذه الرسائل تستخدم كذلك لنقل المعلومات وإصدار الأوامر والتعليمات داخل جسد الكائن الحي.

وتتكون جميع الكائنات الحية من وحدات صغيرة تعرف بالخلايا، فكل كائن حي سواء كان بكتريا أو إنسانا لا بد وأن يتكون من هذه الخلايا. ويمكننا أن نقدر مدى أهمية الخلية الحية إذا علمنا أننا نبدو على الصورة التي نرى بها أنفسنا بسبب هذه الخلايا التي تكون جسدنا، وإذا أدركنا أن نسمة الهواء التي نستنشقها هي من عمل خلية الرئة وخلية الدم، كذلك فإن كل خطوة نخطوها، وكل حركة نقوم بها، وكل كلمة نقولها هي في الحقيقة نتاج للتعاون بين آلاف من خلايانا العضلية والعصبية.

وفي معرض الحديث عن الخلية الحية، لا بد وأن نتمعن قليلا في معنى الحياة؛ ولو أننا سألنا أنفسنا ما هي الحياة؛ لما وجدنا إجابة شافية لهذا السؤال؛ ولقلنا إن الحياة هي إحدى الظواهر الرائعة في هذا الكون، وهي تختلف كثيرا عن كل ما يحويه هذا الكون من أعاجيب، بل وتفوقها روعة وجمالا.

ونحن نعرف بالسليقة أن هناك أشياء حية، وأشياء أخرى غير حية. فالإنسان والحصان والشجرة والزهرة، كلها كائنات حية، على حين توصف الصخور والجبال والمناضد والمقاعد وبعض الأشياء الأخرى التي يصنعها الإنسان، بأنها أشياء جامدة خالية من الحياة. ويصعب علينا كثيرا أن نفرق بين الشيء الحي وغير الحي إلا بعد أن نتدارس بعض الفروق الهامة القائمة بين كل من هذين النوعين، وهي فروق تهدينا فقط إلى التعرف على الشيء الحي، ولكنها لا تفيدنا في معرفة مفهوم الحياة.

وأول هذه الفروق أن جميع الأشياء الحية دون استثناء تتكون من مادة معقدة التركيب تعرف باسم «البروتوبلازم» «Protoplasm» وهي مادة هلامية تقع داخل الخلايا، وتتم فيها جميع الأنشطة الحية والتفاعلات الحيوية المصاحبة للحياة.

والفرق الثاني بين الأشياء الحية وغير الحية، هو الحساسية الشديدة للكائن الحي بما حوله من ظروف... ونحن لا نعني هنا بالحساسية أن الكائن الحي كالإنسان أو الحصان سريع التأثر عاطفيا أو سريع الغضب، ولكننا نعني أن الكائن الحي سريع الاستجابة للتغيرات التي قد تحدث في البيئة المحيطة به.

ويمكننا أن نتصور ذلك إذا قارنا بذرة نباتية تحت سطح التربة بما حولها من حبات الرمال. سنلاحظ أن حبات الرمال قد تتعرض لدرجات مختلفة من الحرارة والرطوبة، ولكنها لا تتغير ولن تتغير، بل ستبقى كما هي حبات من الرمال ولا شيء غير ذلك. أما البذرة النباتية فهي قد تبقى ساكنة فترة من الزمان، ولكنها تبدأ في التغير إذا تعرضت التربة لحرارة الشمس وبللتها مياه الأمطار. فتبدأ البذرة في دفع جزء منها وهو الجذر، في باطن التربة، وتدفع بجزء آخر، وهو الساق، خارج التربة في الهواء. وما هي إلا فترة زمنية محدودة حتى تتحول هذه البذرة الصغيرة إلى شجرة

كبيرة باسقة.

والفرق الثالث بين الأشياء الحية وغير الحية، هو تلك الظاهرة التي نسميها بظاهرة النمو. وقد تنمو الأشياء غير الحية عن طريق التجميع، فهي قد تضيف الى مادتها الأصلية شيئا من البيئة المحيطة بها، ولكنها في كل مرة تفعل ذلك تضيف شيئا مماثلا لها ومن نفس مادتها. ومثال ذلك بلورة السكر، فهي قد تنمو وتكبر في الحجم إذا وضعت في محلول مشبع من السكر في الماء، ولكن هذه البلورة مهما كبرت فستبقى بلورة سكر ولن يتغير تركيبها. أما الأشياء الحية، فهي تنمو بطريقة أخرى تختلف عن ذلك كل الاختلاف فالطفل ينمو بعد أن يتناول طعاما يختلف في تركيبه الكيميائي عن مادة جسده، وهو يحول هذا الطعام عن طريق عشرات من التفاعلات الكيميائية إلى مادة جديدة يضيفها إلى مادة جسده الأصلية.

وعلى هذا فإن الطفل ينمو بعد أن يتناول البيض واللبن والخبز واللحم، ويحولها فيما يعرف بعملية التمثيل الغذائي الى مادة جسده، ولن نستطيع مهما فعلنا أن نجد أثرا لهذه المواد في عضلاته أو في أي مكان من جسده، فهي قد تغيرت تماما وأصبحت جزءا لا يتجزأ من كيانه.

والفرق الرابع الذي يميز الأشياء الحية عن غيرها من موجودات هذا الكون هو تلك الظاهرة المعروفة بظاهرة التكاثر. فالانسان وأنواع الحيوان مثل القطط والكلاب لها جميعا صغار تنمو تدريجيا حتى تتحول إلى كائنات بالغة تشبه آباءها. وحتى النباتات تعطي بذورا تتحول بدورها بمرور الوقت الى نباتات يانعة تشبه جنسها. ونحن لا نعرف هذه الخاصية في الأشياء الجامدة غيرالحية، فالصخرة ليس لها صغار تكبر مع الزمان، والجبل ليس له أبناء تتحول إلى جبال بمرور الزمان.

ورغم معرفتنا بكل هذه الفروق بين الأشياء الحية وغير الحية، فما زلنا لا نعرف شيئا ما عن الحياة نفسها، وكل ما نعرفه عنها أن الحياة ظاهرة فريدة تصاحب تلك التفاعلات الكيميائية والتغيرات الحيوية التي تحدث داخل الخلايا.

6 الخلية الحية

الخلية الحية هي وحدة البناء الأساسية في الكائنات الحية دون استثناء، وهي تمثل عالما قائما بذاته على درجة بالغة من التعقيد، فتحتوي كل منها على آلاف من الجزيئات العضوية مختلفة التركيب، كما تتم فيها مئات من التفاعلات الكيميائية المعقدة، وتجري فيها جميع العمليات الحيوية الهامة في يسر ودقة. وقد كان العالم الإنجليزي رو برت هوك عام 1665 هو أول من لاحظ وجود بعض التقسيمات المنتظمة في رقائق الفلين وأطلق عليها اسم الخلايا «cells» كذلك كان أحد العلماء الهولنديين هو أول من وصف الخلية الحيوانية عام 1673.

وحتى أقل من جيل مضى، كانت الخلية الحية مجهولة التفاصيل، ومنطقة غير محددة المعالم، وحتى عام 1950 لم يكن لدى العلماء شيء كثير من المعلومات عن الخلية الحية.

والخلية الحية ذات حجم متناه في الصغر، فتحتوي كل بوصة مربعة من جلد الإنسان على حوالي مليون من هذه الخلايا، بينما يحتوي جسم الإنسان على ما يقرب من مائة تريليون خلية أو اكثر، ويتركب مخه من حوالي ثلاثين بليون خلية.

وتسبح الخلايا التي تكون الجسد الحي في بحر من المياه يمكن تسميته بالبحر الداخلي فهي تحتوي على 40٪ من الماء الموجود بالجسم، بينما يمثل الماء الموجود خارجها حوالي 15٪ من وزن الجسم على حين يبلغ وزن الماء الموجود بالدم حوالي 5٪ من وزن الجسم باعتبار أن الماء يكون حوالي 60٪ من الوزن الكلي لجسم الإنسان.

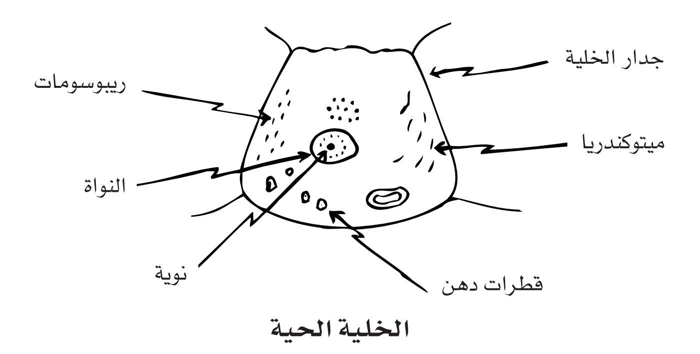
وتأخذ الخلايا احتياجاتها من الغذاء ومن الأكسجين من السوائل المحيطة بالخلية، كما أنها تتخلص من نواتج عملياتها الحيوية غير المرغوب فيها بإفرازها في هذا الماء، ومنه يلتقطها الدم ليحملها إلى الكليتين. وعندما يكون الكائن الحي وحيد الخلية، أي يتكون من خلية واحدة مثل البكتريا، فلا بد له أن يبحث عن وسط يحتوي على الماء كي يعيش فيه، وإلا تعرض هذا الكائن للجفاف والهلاك. وفي مثل هذه الحالات تقوم الخلية الواحدة المفردة بجميع الوظائف الحيوية اللازمة للكائن الحي دون استثناء، فهي تقوم بالحركة وبالتنفس، وبعمليات الأيض، وبالدفاع دون أن يكون لها تخصص واضح.

أما في الحيوانات العليا، وفي الإنسان، فإن تخصص الخلايا يبلغ أقصى مداه، فنجد أن هناك مجموعات متشابهة من الخلايا يتخصص كل منها في القيام بوظائف محددة لا تحيد عنها، فهناك مثلا جهاز خاص للهضم وامتصاص الطعام، وجهاز خاص بالتنفس وظيفته امتصاص الأكسجين والتخلص من ثاني أكسيد الكربون، وجهاز بولي للتخلص من الفضلات الضارة بالجسم، وجهاز للتناسل ونقل الصفات الوراثية من كائن لآخر، وجهاز آخر يتكون من مجموعات خاصة من الخلايا تتجمع على هيئة غدد وظيفتها التنسيق الكامل بين بقية الوظائف والعمليات الأخرى، بالإضافة إلى جهاز حاكم هو المخ.

ونظرا لهذا التخصص الرفيع، فإنه لا يمكن القول بان هناك خلية مثالية يمكن لها أن تمثل بقية الخلايا تمثيلا دقيقا، ومع ذلك فإن هناك كثيرا من الصفات المشتركة وأوجه الشبه بين كل هذه الأنواع من الخلايا.

وتتكون الخلية بصفة عامة من جدار يعطيها شكلها العام، ويقع بداخل هذا الجدار ذلك السائل الهلامي الذي نعرفة باسم السيتوبلازم، ويعج هذا السائل بالنشاط الكيميائي وبالحركة الدائبة، وتسبح فيه مئات من

الجسيمات المختلفة الأشكال والأنواع، فمنها الكروي، ومنها المستطيل، وهي تعرف بأسماء مختلفة، مثل «الرايبوسومات» التي يجري عندها تشكيل جزيئات البر وتينات، و «السنتريولات»، وقطرات الدهن، و«الميتوكوندريا» التي توصف أحيانا بأنها محطة القوى التي تدفع بالطاقة اللازمة في أرجاء الخلية.



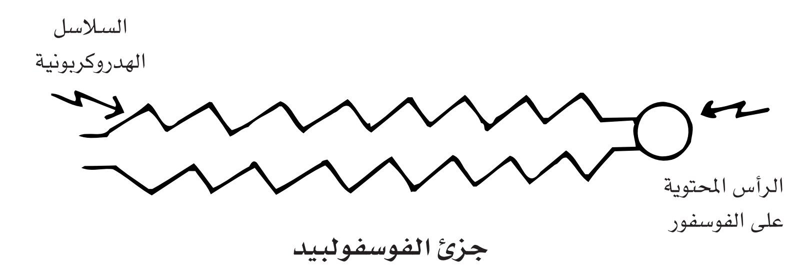
الخلية الحية

ويتصف جدار الخلية بأهميته البالغة، فهو الذي يتحكم في المواد الداخلة أو الخارجة من الخلية، وهو يوصف عادة بأنه شبه منفذ، أي يسمح لبعض المواد بالنفاذ منه بينما يمنع بعضها الآخر. ويبلغ جدار الخلية حدا فائقا من الرقة، فيبلغ سمكه حوالي 75 انجشتروم (الانجشتروم يساوي جزءا من مائة مليون جزء من السنتيمتر)، وهذا الجدار صلب إلى حد ما في الخلايا النباتية ويتكون من السليولوز، ولكنه في الخلايا الحيوانية يتكون من بعض الجزيئات العضوية الكبيرة التي تترتب بجوار بعضها البعض في نظام خاص. ويتركب جدار الخلية الحيوانية من بعض الجزيئات العضوية الدهنية التي تعرف باسم «الفوسفولبيدات» لاحتوائها على الفوسفور.

وتتركب جزيئات الدهون بصفة عامة باتحاد بعض الأحماض العضوية ذات السلاسل الطويلة، والتي تعرف باسم الأحماض الدهنية (لوجودها دائما في الدهن) مع الجليسرين. وتتكون الفوسفولبيدات بنفس الأسلوب، فهي تتكون باتحاد الجلسرين مع جزيئين من الحمض الدهني بينما يكون الجزء الثالث عبارة عن مجموعة تحتوي على حمض الفوسفوريك متحدا مع قاعدة عضوية، ويمكننا تمثيل ذلك بجزء الليثيسين كما يلي:

```
 CH2   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2
/   \ /   \ /   \ /   \ /   \ /   \ /   \ /   \
CH3  CH2   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2COOCH2
                                                 |     O      (+) CH3 (-)
                                                 |     ||        /
                                                 CHO PO CH2 CH2N-CH3OH
                                                 |     |         \
                                                 |     OH         CH3
CH3   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2    CH2COOCH2
   \ /   \ /   \ /   \ /   \ /   \ /   \ /   \ /
   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2   CH2
```

ويمكن تبسيط جزء الفوسفولبيد السابق تبسيطا كبيرا إذا رمزنا لرأس الجزء الذي يحتوي على الفوسفور والقاعدة العضوية بدائرة، ومثلنا السلاسل الهدروكربونية الطويلة بخيوط أو أهداب كما في الشكل التالي:

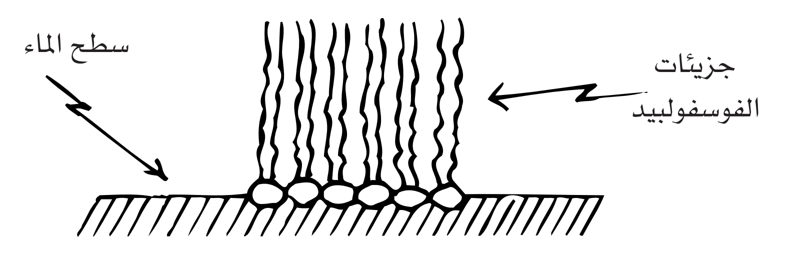


جزئ الفوسفولبيد

وتتحكم في ترتيب جزيئات الفوسفولبيد في جدار الخلية، خاصية طبيعية يعرفها جميع دارسي الكيمياء، وهي تتوقف على مدى حب الجزء أو كرهه للماء.

وهناك نوعان من الجزيئات العضوية، نوع منها يحث على بعض المجموعات الخاصة مثل مجموعات الهدر وكسيل، أو يحتوي في بعض أجزائه على شحنة كهربائية، تساعده على جمع كثير من جزيئات الماء حوله وتيسر له الانغماس في الماء إن وجد، ويعرف هذا النوع بأنه «محب للماء». أما النوع الثاني من الجزيئات العضوية فيسمى «كاره للماء» وينطبق ذلك على جميع الجزيئات التي تتكون من عنصري الكربون والهيدروجين فقط مثل السلاسل الهدر وكربونية في جزء الفوسفولبيد، وهذه الجزيئات تشبه الشمع في هذه الخاصية، فالشمع لا يبتل بسهولة فهو كاره للماء لأنه يتكون من سلاسل من الكربون والهيدروجين فقط، بينما تبتل خيوط القطن بسهولة لأنها تتركب من السليولوز الذي يحتوي على عدد كبير من مجموعات

الهيدروكسيل. وبتطبيق هذه القاعدة على جزيئات الفوسفولبيد المكونة لجدار الخلية الحية، نجد أنها تتصرف تلقائيا بما يتمشى مع خواصها المحبة أو الكارهة للماء، فرووس هذه الجزيئات المحتوية على الفوسفور مشحونة بشحنة كهربائية تجعلها تنجذب لجزيئات الماء وتنغمس فيه، بينما بقية الجزيء المتكون من السلاسل الهدر وكربونية التي تشبه الشمع تكره الماء وتتنافر معه فتتجه بعيدة عنه.

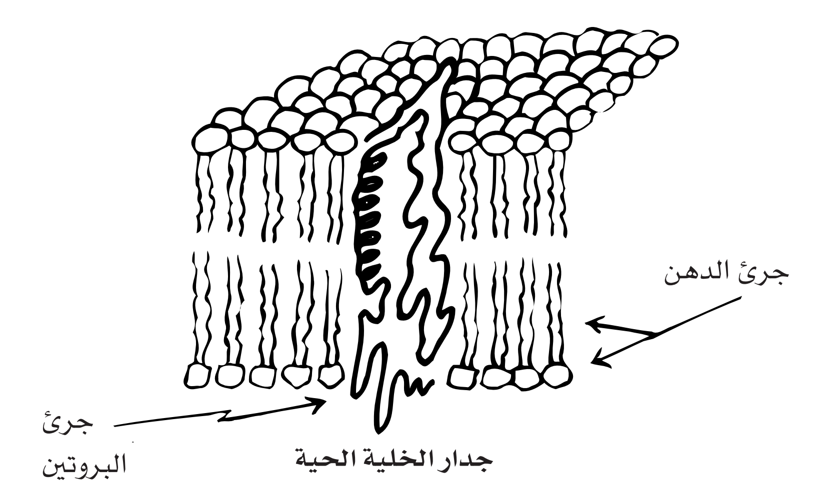


ولا تحيد جزيئات الدهن (الفوسفولبيدات). ابدا عن هذا التصرف مهما كانت الظروف، فحيثما وجد الماء نجد أن الرووس الفسفورية تنغمس فيه بينما تمتد السلاسل الهدر وكربونية في الفراغ بعيدا عن الماء.

وبما أن الخلية تسبح في الماء داخل الجسم كما ذكرنا من قبل، فإن هذا يؤدي الى ازدواج جدار الخلية فيتكون من طبقتين من الجزيئات الدهنية، فتتجه الرووس الفسفورية أو الكرات في الطبقة العليا إلى الخارج ملامسة للماء خارج الخلية، على حين تتجه الرووس الفسفورية للطبقة السفلى نحو الداخل ملامسة للماء داخل الخلية، بينما تقع السلاسل الهدروكربونية لطبقتي جزيئات الفوسفولبيد في وسط الجدار مبتعدة عن الماء.

ويشترك مع جزيئات الفوسفولبيدات في تكوين جدار الخلية الحية نوع آخر من الجزيئات العضوية التي تعرف باسم البر وتينات. والبروتينيات جزيئات عملاقة تتركب من مئات الذرات، وهي تتكون باتحاد عديد من الأحماض الأمينية المحتوية على النتروجين. وتتخلل بعض جزيئات البروتين التركيب السابق لجدار الخلية في بعض المواضع وهي قد تبرز خارج الخلية، أو قد تمر خلال الجدار كله وتبرز منه نحو الداخل والخارج معا.

وتترتب جزيئات البروتينات داخل جدار الخلية طبقا للخاصية الطبيعية التي سبق ذكرها، وهي مثل جزيئات الفوسفولبيدات، لا يبرز منها في الماء



خارج أو داخل الخلية إلا الأجزاء التي تحمل شحنة كهربائية والمحبة للماء. أما بقية جزئ البروتين غير المشحونة فهي كارهة للماء، ويبقى وسط الجدار بين السلاسل الهدر وكربونية لجزيئات الفوسفولبيدات.

ويتبين من ذلك أن جدار الخلية يتكون من مئات من الجزيئات المتراصة التي تحتشد بجوار بعضها البعض دون أن يربطها رباط كيميائي. ولا يعني هذا أن جدار الخلية ضعيف التكوين، بل هو متماسك بدرجة كافية نتيجة لقوى التجاذب القائمة بين هذه الجزيئات وكذلك نتيجة لقوى التجاذب بين روؤسها الفسفورية وبين جزيئات الماء الموجود داخل الخلية وخارجها.

وتلعب جزيئات البر وتينات التي تتخلل جدار الخلية دورا فعالا في نشاط الخلية، فهي تستقبل أنواعا مختلفة من الجزيئات والهرمونات وبعض الأيونات، وتعمل كقنوات تساعد على عمليات التبادل بين السيتوبلازم داخل الخلية، وبين الوسط المائي الواقع خارجها. كذلك تلعب جزيئات البروتين البارزة على السطح الخارجي للجدار دورا هاما في عمليات الدفاع والأمن داخل جسد الكائن الحي، وهي تسمى العلامات الجزئية التي تميز خلايا الكائن الحي من غيرها من الخلايا الدخيلة، وبذلك تساعد الأجسام المضادة على التعرف على خلايا جسدها فتتركها وتهاجم الخلايا الدخيلة الأخرى وتشبه هذه الجزيئات بذلك العوامات المضيئة التي تطفو على سطح البحر

في مداخل الموانئ ليلا لهداية السفن إلى مداخل الميناء. وبالرغم من أن جدار الخلية يتكون من جزيئات متراصة لا رابط بينها، إلا أن هذه الجدران تكفي لحفظ حدود كل خلية والاحتفاظ بشخصيتها، فهذه الجدران تمنع انتقال السوائل بحرية مطلقة داخل جسد الكائن الحي، وتشبه هذه الجدران تلك التقسيمات التي تقام في باطن ناقلات البترول لتقسيمها إلى عنابر صغيرة حتى لا تتحرك حمولتها من البترول بحرية مطلقة تحت تأثير أمواج البحر. كذلك تساعد هذه الجدران على التحكم في أنواع الجزيئات التي تدخل كل خلية أو تغادرها، وهي بذلك تساعد بطريقة غير مباشرة على تخصص الخلايا الذي نشاهده في الحيوانات العليا وفي الإنسان.

وللخلية الحية نواة مستديرة الشكل تقريبا تقع في وسط الخلية ويحيط بها السيتوبلازم من كل جانب. وتعتبر النواة من أهم مكونات الخلية الحية، فهي المسئولة عن حياة الخلية وانقسامها وتكاثرها، ولو أننا قسمنا إحدى هذه الخلايا إلى نصفين، لوجدنا أن النصف الخالي من النواة يفقد القدرة على الانقسام ويموت بعد فترة من الزمن، بينما يستمر النصف الآخر المحتوي على النواة في أداء وظائفه المعتادة.

وتحتوي النواة على أجسام صغيرة تعرف باسم الكروموسومات (الصبغيات) وهي تلك الأدوات الخاصة بحمل جميع العوامل الوراثية التي تحدد الصفات المميزة لكل كائن حي. ويتكون كل كر وموسوم من غلاف من البروتين يوجد بداخله جزئ عملاق يعتبر من أهم الجزيئات العضوية التي توجد بجسم الكائن الحي، ويعرف باسم حمض ديزوكس رايبوز النووي، ويرمز له بالرمز DNA «دينا»، وهو الذي يحمل الرسائل أو الوحدات الوراثية التي تعرف باسم «الجينات». وتحتوي أغلب النوى على نوات صغيرة هي عبارة عن تجمعات من حمض نووي آخر يعرف باسم حمض رايبوز النووي ويرمز له بالرمز RNA، وهو المسئول عن تخليق البر وتينات طبقا للشفرة التي يحملها. وهكذا فإن كل خلية في جسد الكائن الحي تعتبر عالما قائما بذاته، له شخصيته وله وظيفته الخاصة في بعض الأحيان، وتعج كل خلية من خلايا الكائن الحي بالنشاط والضجيج الكيميائي، وتلعب كل من هذه الخلايا دورها المرسوم بكل دقة وعناية، ويتشكل من مجموع نشاطاتها في نهاية الأمر الشكل النهائي للكائن الحي.

7 مفردات اللغة الكيميائية في الخلية الحية

تتعامل الخلية الحية أثناء القيام بوظائفها الحيوية مع مئات من أصناف وأنواع الجزيئات الكيميائية التي تتباين في تركيبها وفي وظائفها. وتسبح هذه الجزيئات في ذلك السائل الهلامي المسمى بالسيتوبلازم والذي يملأ الخلية الحية، وهو المسئول عن كل النشاط الحيوي في جسد الكائن الحي، ففيه تحدث جميع التغيرات الكيميائية التي تؤدي إلى هضم الطعام والنشاط العضلي وعمليات الأمن والدفاع وغيرها من الوظائف الحيوية.

والماء هو الوسط الذي تتم فيه كل التفاعلات الكيميائية داخل الخلية، وهو يكون حوالي 60-90٪ من السيتوبلازم، وهو يمتلىء بأصناف متعددة من المواد الكيميائية، مثل الأملاح المعدنية، فهناك اتزان دقيق بين أيونات الكلسيوم وأيونات الصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم. وتوجد هذه الأملاح في البروتوبلازم بنسبة وجودها في ماء البحر تقريبا، واستخدم بعض علماء البيولوجيا هذه الملاحظة في القول بأن الحياة بصفة عامة قد نشأت في

البحار والمحيطات. ولكل من هذه الأملاح أو الأيونات مهامه الخاصة في الخلية، فأيونات الصوديوم تساعد على ضبط عملية انتشار المواد خلال جدار الخلية، وأيونات البوتاسيوم تساعد على توصيل النبضات العصبية وعلى تقلص العضلات وأيونات الكلسيوم تسرع في عمل الأنزيمات وهكذا.

ويمكن تقسيم المواد العضوية المساندة للحياة، والتي توجد في الخلية الحية وتساهم بقدر كبير في نشاطها الحيوي، إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي الدهون والكربوهيدرات والبر وتينات. وتستحق منا هذه الأقسام الثلاث وقفة قصيرة لأنها تمثل أهم مفردات لغة الكيمياء في الجسد الحي.

ا لدهون:

الدهون مركبات بسيطة تتكون باتحاد بعض الأحماض العضوية ذات السلاسل الطويلة مع الجليسرين. وبعض هذه الدهون لا يذوب في الماء، ولذلك تبقى منتشرة في بروتوبلازم الخلية على هيئة قطرات صغيرة الحجم. وقد ترتبط بعض هذه الدهون بذرات بعض العناصر الأخرى مثل الفوسفور والنتروجين كما سبق أن رأينا في حالة جدار الخلية الحية، وتساعد مثل هذه المجموعات على ارتباط جزيئات الدهن بجزيئات الماء، وتجعلها أكثر قدرة على الاختلاط بما حولها من سوائل. وتعتبر الدهون مصدرا هاما من مصادر الطاقة في الخلية الحية، فعندما تتأكسد يتحول ما بها من ذرات الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون، ويتحول ما بها من هيدروجين إلى الماء، وينتج من هذه الأكسدة قدر كبير من الطاقة، أكبر مما تعطيه المواد الأخرى الموجودة بالسيتوبلازم. وتتم عملية الأكسدة في الخلية ببطء كبير، وتخزن الدهون في أنسجة خاصة لاستخدامها عند الحاجة.

الكربوهدرات:

الكربوهدرات مواد عضوية تتكون من عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين، ويوجد بها العنصران الأخيران بنسبة وجودهما في جزئ الماء وتوجد هذه المواد الكربوهدراتية على أشكال متعددة، مثل الجلوكوز (سكر العنب) والفركتوز (سكر الفاكهة)، والسكروز وهو سكر القصب الذي نستخدمه كل يوم. وقد تتحد بعض جزيئات الكربوهدرات البسيطة السابقة

لتكون جزيئات اكبر منها لا تقبل الذوبان في الماء مثل النشا الذي يوجد في درنات بعض النباتات أو السلولوز الذي يكون جدران الخلايا النباتية ويعطي النبات شكله العام.

وبخلاف النشا النباتي الذي يملأ درنات البطاطس أو حبات القمح، فهناك نوع آخر من النشا الحيواني يعرف باسم «الجليكوجين» وينتشر في خلايا الكبد وخلايا العضلات، ويعتبر مصدرا رئيسيا من مصادر الطاقة في الكائن الحي. وهناك فرد من أفراد هذه المجموعة ذو أهمية خاصة، ويسمى بسكر الرايبوز، وهو يتحد مع الفوسفور ومع بعض الامينات العضوية ليعطي تلك الجزيئات الهامة المعروفة باسم الأحماض النووية والتي تعرف باسم DNA، RNA «على هيئة ديزوكسي رايبوز»، وهي الجزيئات العملاقة التي توجد بنوى الخلايا وتحمل الصفات الوراثية في الكائن الحي.

البر وتينات:

ربما كانت جزيئات البر وتينات التي يجري تصنيعها في الخلية الحية من أهم مفردات اللغة الكيميائية السائدة في هذه الخلايا. والبر وتينات جزيئات عضوية عملاقة تتكون من مئات من ذرات الكربون والهيدروجين والنيتروجين والأكسجين. وأهمية البر وتينات في أنها تكون أكثر من نصف المواد الصلبة التي يتكون منها جسم الإنسان. وبجانب كونها أداة هامة للحركة حيث تتكون منها أنسجة العضلات، فهي تقوم بعديد من العمليات الحيوية الأساسية، فهي تشارك في عمليات الهدم والبناء، كما أنها تتولى عمليات الدفاع الحيوي داخل جسد الكائن الحي.

وتتكون البر وتينات باتحاد نوع من الأحماض العضوية يعرف باسم الأحماض الأمينية. ويوجد من هذه الأحماض الأمينية عشرون نوعا، وهي تتميز جميعا بوجود مجموعة قاعدية في جزيئاتها بالإضافة إلى المجموعة الحمضية المميزة للحمض، ولا تختلف هذه الأحماض الأمينية إلا في تركيب المجموعة المتصلة بهاتين المجموعتين. ويتم الاتحاد بين الأحماض الأمينية لتكوين سلسلة طويلة تتفرع منها المجموعات الجانبية، وعلى ذلك فان جميع البر وتينات تحتوي جزيئاتها على نفس السلسلة ولكنها تختلف فقط في المجموعات الجانبية المتصلة بهذه السلاسل من بروتين لآخر.

$$\ldots + H_2N - \underset{R}{\overset{H}{C}} - COOH + H_2N - \underset{R_I}{\overset{H}{C}} - COOH + \ldots \longrightarrow$$

حمض اميني　　　حمض اميني

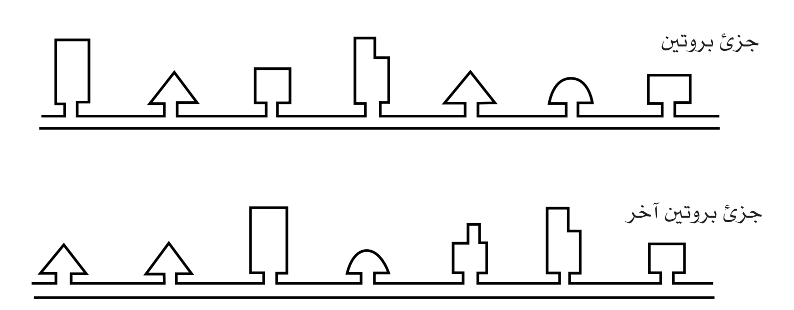
المجموعة الجانبية
سلسلة البروتين

$$- HN - \underset{|}{\overset{R}{CH}} - CONH - \underset{|}{\overset{R_I}{CH}} - CONH - \underset{|}{\overset{R}{CH}} - CO -$$

جزئ البروتين

ويمكننا أن نتصور الاحتمالات الهائلة التي تنشأ عن اتحاد عشرين حمضا أمينيا مختلفا مع بعضها البعض لتكوين مثل هذه السلاسل البروتينية. ويمكن تشبيه الأحماض الأمينية في هذه الحالة بحروف اللغة، والسلاسل البروتينية بالكلمات أو الجمل، فكما نستطيع أن نكون أعدادا هائلة من الكلمات والجمل من عدد محدود جدا من الأحرف، فإننا نستطيع كذلك أن نكون آلافا من هذه السلاسل البروتينية باتحاد الأحماض الأمينية بمجرد التغيير في ترتيب وحدات هذه الأحماض على طول السلسلة.

وعلى ذلك فإن الاختلاف الحقيقي بين بروتين وآخر يعتمد على شيئين: الأول منهما يتعلق بنوع الأحماض الأمينية الداخلة في تركيب هذه السلسلة، والثاني يعتمد على الترتيب الذي تتخذه هذه الأحماض داخل السلسلة. ويمكن تبسيط هذه الحقيقة بالشكل التالي:



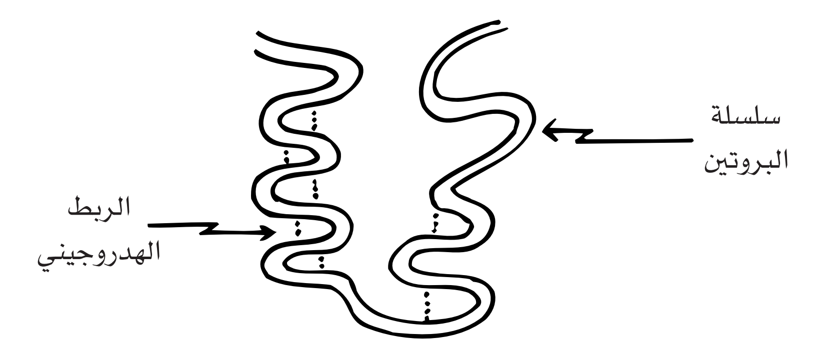
وهذا التنوع في ترتيب وحدات الأحماض الأمينية على طول السلسلة البروتينية يعطي أعدادا هائلة من البر وتينات المتنوعة التي يختلف كل منها عن الآخر في خواص ونشاطه، وبذلك يمكن القول بأن كل نوع من الخلايا يقوم بتصنيع البر وتينات الخاصة به، والتي تتناسب مع نشاطاته المختلفة، فالبروتينيات التي تصنعها خلايا الرئة تختلف عن البروتينيات الموجودة بخلايا الكلية أو بالخلايا العضلية. ويبدو من ذلك أن كل خلية تصمم بر وتيناتها بشكل خاص يتفق مع الغرض المطلوب منها، ويشبه ذلك اختلاف أدوات النجار أو الصانع مثل المطرقة والكماشة والمفك والمنشار، فهي جميعا تصنع من نفس المادة، ولكن كلا منها قد صمم لأداء مهمة خاصة.

وقد تحتوي سلسلة البروتين على ألف وحدة أو اكثر من وحدات الأحماض الأمينية، ولهذا لا تبقى هذه السلاسل الطويلة منبسطة على الدوام، بل إن أغلب السلاسل البروتينية تنثني وتلتف حول نفسها على هيئة لولب أو حلزون.

ويحدث هذا الانثناء والالتفاف في سلاسل الجزيئات البروتينية نتيجة للتجاذب الذي يحدث بين مجموعات الببتيد المكونة لها فيحدث نوعا من التنافس بين ذرات الأكسجين وذرات النتروجين في الإمساك بذرات الهيدروجين، مما يؤدي إلى التقارب بين مكونات السلسلة البروتينية واتخاذها ذلك الشكل الحلزوني.

ويطلق على ذلك التنافس بين الذرات للإمساك بالهيدروجين اسم الرباط الهيدروجيني، ورغم ضعف هذا الرباط بالنسبة لأنواع الروابط الأخرى التي تقوم بين الذرات، حيث لا تزيد إلا عدة مرات على الطاقة اللازمة للتذبذب الحراري للجزيئات في درجة حرارة الغرفة، إلا أن تكرار هذا الرباط أو آلاف المرات يجعله شيئا محسوسا ويؤدي إلى شدة التماسك بين أطراف السلسلة.

ويتضح من هذا التنوع الهائل في تركيب الجزيئات البروتينية، أن كل خلية لها بروتيناتها وأن كل كائن حي له تراكيبه الخاصة به، ومع ذلك فقد تبين من بعض البحوث الحديثة، أن خلايا الأنسجة المتشابهة في الحيوانات المختلفة لها نوع من الميل بعضها إلى بعض، فقد أمكن وضع أنسجة من كلية الفئران مع أنسجة من كلية الدجاج في محاليل خاصة، لتنمو معا وتعطي



هجينا جديدا أطلق عليه اسم «الأنسجة الكاذبة» «Pseudotissues».

ولا شك أن مثل هذه التجارب قد تعود بالنفع يوما ما على الإنسان، وتساعد على إصلاح الأنسجة التالفة باستخدام أنسجة مقابلة من بعض الحيوانات الأخرى.

8 الأنزيمات

الإنزيمات إحدى المفردات الهامة في لغة الكيمياء داخل جسد الكائن الحي، وهي تساعد على ترجمة الأوامر الصادرة في الخلية إلى واقع ملموس وهي المسئولة عن كل عمليات الهدم والبناء التي تقوم بها الأجسام الحية.

وتعتبر الطريقة التي تنجز بها الخلية تفاعلاتها الكيميائية في يسر ودقة إحدى الظواهر التي طالما أثارت إعجاب علماء الكيمياء. فمن المعروف أن مثل هذه التفاعلات المعقدة التي تتم بسهولة تامة في الخلايا الحية، لا تحدث خارج الخلايا في المعامل إلا في بطئ شديد، وتحتاج إلى طاقة عالية تستلزم رفع درجة الحرارة إلى حدود تزيد كثيرا على درجة الحرارة السائدة في هذه الخلايا.

وقد اتضح فيما بعد أن الخلايا الحية لا تحتاج إلى كل هذا الجهد لإتمام عملياتها الحيوية، فهي تقوم بتصنيع أدواتها الخاصة المعروفة باسم الأنزيمات، وهي التي تعمل كعوامل مساعدة وتنجز كل أعمالها في يسر ودقة. والعامل المساعد مادة نشيطة تساعد على دفع التفاعل الكيميائي إلى نهايته، ولكنها لا تدخل في هذا التفاعل بل تبقى ثابتة دون تغير عند نهاية هذا التفاعل.

وتشبه الأنزيمات العوامل الكيميائية المساعدة في هذا الشأن فهي لا تدخل في التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الخلايا، ولكنها تعمل على بدء هذه التفاعلات وإنهائها دون أن تفقد شيئًا من تركيبها. والأنزيمات جزيئات من البروتين محددة التركيب تقوم الخلية الحية بتصنيعها طبقا لنمط معين كما سنرى فيما بعد. ويحدد تتابع الأحماض الأمينية في جزئ الأنزيم وظيفة هذا الأنزيم، وينبني على ذلك أن لكل أنزيم تصنعه الخلية وظيفة بعينها لا يحيد عنها، ولا يدخل هذا الأنزيم في أي تفاعل آخر كما لا يتدخل في عمل غيره من الأنزيمات.

وهذه النوعية الشديدة هي أهم ما يميز جميع الأصناف الكيميائية المتنوعة داخل الخلية، فلكل منها مهامه ووظيفته المحددة، ولا شك أن هذا يضفي على أعمال الخلية الحية نوعا من الدقة لا يتوفر لغيرها، ويؤدي إلى سلاسة اللغة الكيميائية السائدة بها. ويمكننا أن نتصور الأعداد الهائلة من الأنزيمات التي تصنعها الخلية وتسبح في السيتوبلازم، إذا علمنا أن هناك مئات من التفاعلات الكيميائية التي تجري كل دقيقة في هذه الخلايا، ولنا أن نتصور ذلك النظام الرائع الذي يحكم مثل هذه التفاعلات.

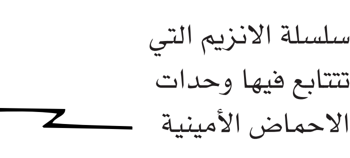
ويعتبر السائل الذي يملأ الخلية منطقة خطرة بالنسبة لأي دخيل، فلا بد أن تعترضه بعض الكريات الصغيرة التي تطوف بالسيتوبلازم وتنتشر في أرجاء الخلية. وتمتلئ هذه الكريات ببعض الأنزيمات المحللة التي تستطيع أن تحلل وتهضم عمليا كل شيء، وهي تقوم بحراسة الخلية من الدخلاء كما تقوم بتنظيفها من كل الأشياء غير المرغوب فيها، مثل الأجزاء الخلوية التالفة وبقايا الأنزيمات المستهلكة وبعض النواتج الثانوية الضارة، وهذه العملية بالغة الأهمية بالنسبة للنمو الصحي للخلية وللجسم الحي.

وقد كان العالم البريطاني الكسندر فليمنج هو أول من اكتشف أحد هذه الأنزيمات فقد كان مصابا بنوبة برد، وهداه تفكيره العلمي إلى أن يضع بضع قطرات من السائل المخاطي الذي يتساقط من أنفه في طبق من الزجاج يحتوي على مزرعة من البكتريا، ثم وضع هذا الطبق جانبا فترة من الزمان كي يرى نتيجة هذه التجربة. وقد دهش فليمنج عندما لاحظ أن البكتريا المحيطة بقطرات السائل المخاطي قد بدأت في التحلل والذوبان بمرور الوقت، وتصور في الحال أنه على وشك اكتشاف مضاد حيوي جديد

يستطيع إبادة كل أنواع البكتريا على الإطلاق.

وقد خاب ظن فليمنج بعد أن علم أن الفعل المضاد للبكتريا كان في الحقيقة نتيجة لوجود أحد الأنزيمات في المخاط، وان لهذا الأنزيم قدرة على إذابة وتحليل خلايا البكتريا وسمي فيما بعد «لايسوزايم» أو الأنزيم المحلل. وقد أدرك فليمنج أن هذا الأنزيم لا يصلح لإبادة كل أنواع البكتيريا، فقضى حوالي سبع سنوات من البحث قبل أن يتوصل لاكتشاف المضاد الحيوي الهام الذي عرف فيما بعد باسم البنسلين. ويعتبر اكتشاف أنزيم اللايسوزايم من الاكتشافات العلمية الهامة فقد تبين وجوده في كثير من أنسجة الجسم الحي، كلما اتضح وجوده في بعض النباتات. وقد أعان اكتشاف هذا الأنزيم على التعرف على كثير من تفاصيل تركيب خلايا البكتريا، كما كان أول أنزيم أمكن دراسة خواصه دراسة كاملة، وأمكن التعرف على هيئته الفراغية أو توزيع ذراته في الفراغ الثلاثي الأبعاد.

واللايسوزايم مثل غيره من الأنزيمات، عبارة عن بروتين متوسط الحجم يتكون باتحاد عدة أنواع من الأحماض الأمينية، ويتركب جزيئه من 129 وحدة من وحدات هذه الأحماض التي تتتابع في سلسلته في ترتيب خاص. وتتصل وحدات الأحماض الأمينية في سلسلة اللايسوزايم عرضيا فيما بينها في أربعة أماكن عن طريق معابر يتكون كل منها من ذرتين من ذرات الكبريت، وذلك في الأماكن التي توجد بها وحدات الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت.



إنزيم اللايسوزايم

ولا تتحدد خواص الأنزيم بمعرفة تركيب الكيميائي فقط، ولكن هذه الخواص تعتمد بشكل رئيسي على الهيئة الفراغية التي يتخذها هذا الأنزيم وعلى الطريقة التي تنثني بها سلسلته في الفراغ. وقد تعددت محاولات العلماء لدراسة الشكل العام لجزيئات البروتينات بأنواعها المختلفة، ولكن هذا العمل لم يكلل بالنجاح في أغلب الحالات. وتتمثل الصعوبة الحقيقية في صغر حجم هذه الجزيئات، فبالرغم من أننا نصف دائما جزيئات البروتينات على أنها جزيئات ضخمة عملاقة تحتوي على آلاف الذرات، إلا أن هذه الجزيئات مهما كبرت في الحجم فلا يمكن رؤيتها تحت الميكروسكوب العادي على الإطلاق.

ويمكننا تصور مدى صغر هذه الجزيئات إذا علمنا أن المسافة التي تفصل كل ذرة عما يجاورها من ذرات تقدر بحوالي 1,5 انجشتروم وهي مسافة غاية في الصغر حيث أن الانجشتروم يساوي جزءا من مائة مليون جزء من السنتيمتر. وإذا طبقنا ذلك على أنزيم اللايسوزايم الذي يتركب من 1950 ذرة لوجدنا أن طول جزيئه لا يزيد عن 40 انجشتروم فقط وذلك بسبب التواء سلسلته حول نفسها في الفراغ. ولا يمكن رؤية الذرات التي يتكون منها جزئ اللايسوزايم بل لا يمكن حتى رؤية الجزىء نفسه تحت الميكروسكوب العادي حيث أن ذلك يعتمد في المقام الأول على طول الموجة الضوئية المستخدمة في رؤية هذا الجزىء.

وكقاعدة عامة لا يمكن رؤية جسمين منفصلين تقل المسافة التي تفصل بينهما عن نصف طول الموجة الضوئية المستخدمة. وتبلغ أقصر الموجات الضوئية المستخدمة في الميكروسكوب العادي والتي تقع ناحية الأشعة فوق البنفسجية حوالي 2000 مرة قدر طول المسافة بين الذرات. ونتوقع بذلك ألا تنعكس هذه الموجات عند مرورها فوق الذرات الصغيرة، وبالتالي فهي لا تفيد في رؤية هذه الذرات أو الجزيئات الصغيرة. ولا يصلح في هذه الحالة إلا الأشعة السينية التي يبلغ طول موجتها نفس طول المسافات التي تفصل بين الذرات على وجه التقريب. ورغم صلاحية الأشعة السينية من هذه الناحية إلا أنها تثير بعض المشاكل الأخرى حيث لم يمكن بعد استحداث وسائل خاصة مثل العدسات والمرايا يمكن عن طريقها تجميع هذه الأشعة بعد انعكاسها لتعطي صورة واضحة للأجسام التي تمر بها.

ومن المعروف أن الطريقة التي تتكون بها صور الأجسام في الميكروسكوب تعتمد على خطوتين رئيسيتين. الأولى: تعتمد على سقوط الموجة على الجسم وانعكاسها ثم انتشارها في جميع الاتجاهات، والثانية: تعتمد على قدرة العدسة الشيئية للميكروسكوب على تجميع هذه الإشعاعات المشتتة وتحويلها إلى صورة للجسم.

ويعتمد استخدام الأشعة السينية على الخطوة الأولى اعتمادا كليا، أي أنه يعتمد على قدرة الجسيمات على تشتيت إشعاعاتها في جميع الاتجاهات ثم يسجل نموذج هذا التشتيت أو نموذج الانحرافات «Diffraction pattern». وتستخرج منه صورة للجسم بعمليات حسابية خاصة معقدة تعتمد على الفرق النسبي في كثافة الموجات المرتدة من أجزاء الجسم المختلفة. وتعتمد هذه الطريقة اليوم على قدرة الحاسبات الإلكترونية التي ساهمت إلى حد كبير في حل كثير من المشاكل عند تعيين تركيب جزيئات البروتين.

وبتطبيق هذه الطريقة على جزئ أنزيم اللايسوزايم تبين أن سلسلته تلتف حول نفسها في الفراغ بإسلوب خاص بحيث تقع المجموعات الكارهة للماء داخل التواءات السلسلة بعيدا عن الماء، بينما تقع المجموعات المحبة للماء على السطح الخارجي للجزيء في مواجهة المحاليل. ويشبه الجزىء في هذه الحالة الخيوط التي التفت حول نفسها مرات ومرات كما يمكن تشبيهه بنقطة من الزيت تغطيها مجموعات قطبية محبة للماء.

ويبدو لنا على الفور أن الهيئة الفراغية التي يتخذها جزئ أنزيم اللايسوزايم أو التي تتخذها الأنزيمات بصفة عامة لا تحدث بطريقة عشوائية بل تحدث طبقا لخاصية طبيعية يحددها مقدار حب أو كره المجموعات الداخلة في تركيب الأنزيم للماء ولهذا فإنه في كل مرة يتكون فيها جزئ الأنزيم فإنه يلتف حول نفسه بنفس الأسلوب، أي أنه يتخذ نفس الهيئة الفراغية على الدوام طالما ظل ترتيب وحدات الأحماض الأمينية ثابتا فيه.

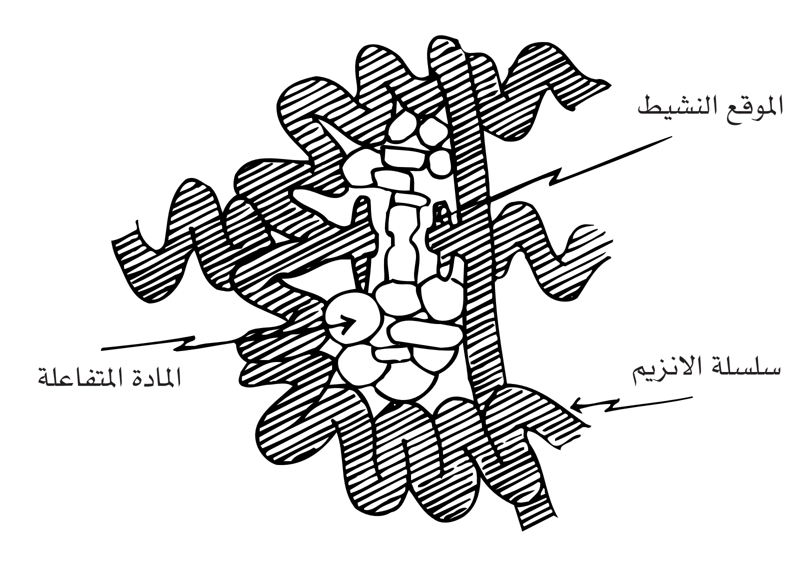
وتتعلق هذه الخاصية الطبيعية تعلقا كبيرا بمستوى طاقة الجزىء فالتواء السلسلة أو التفافها حول نفسها بحيث تصبح المجموعات الكارهة للماء داخل الجزىء بعيدة عن الماء يقلل من طاقة التنافر بينها وبين الماء. وعلى هذا فإن اتخاذ جزيئات البروتين لهذه الأوضاع المذكورة يجعلها أقل طاقة

أي أكثر ثباتا. ومن المعتقد أن جزيئات الأنزيمات البروتينية تتخذ هذه الهيئات الفراغية الثابتة فور تكونها مما يدل على أن عملية انثناء جزيئات الأنزيم والتفافها حول نفسها تتبع الخاصية الطبيعية السالفة الذكر.

ويبدو مما سبق أن لكل أنزيم طريقته الخاصة في الالتواء حول نفسه، وأن هذا يعتمد على تركيب سلسلته والطريقة التي تتابع بها وحدات الأحماض الأمينية على طول هذه السلسلة.

ويترتب على هذا الالتواء أن يصبح لكل أنزيم تجويف خاص ذو شكل وحجم محدد، وهو لا يتفاعل أبدا إلا مع جزيئات المواد المتفاعلة التي تستطيع أن تتدخل في هذا التجويف. وعند حدوث هذا التداخل تتلامس المادة المتفاعلة مع المواقع أو المجموعات النشيطة في جزئ الأنزيم ويبدأ الفعل الكيميائي عند هذه المواضع.

وتفسر هذه النظرية جيدا النوعية الفائقة لهذه الأنزيمات فلكل منها موقع نشيط واحد محدد الحجم والشكل، لا يستوعب إلا صنفا واحدا من الجزيئات، وبذلك ينحصر عمل الأنزيم في عملية واحدة وفي نوع واحد من التفاعل لا يتعداه على الدوام.



تجويف الانزيم (الموقع النشيط للانزيم)

ولا يفعل أنزيم اللايسوزيم ذو القدرة الفائقة على تحليل خلايا البكتريا وتدميرها شيئا يشذ عن هذه القاعدة. فهو يتحسس جدار خلية البكتريا حتى يجد مكانا في هذا الجدار يقبل التداخل في تجويفه. وهناك تقوم وحدات الحمض الأميني الموجودة بهذا التجويف، الذي يسمى أحيانا بالموقع النشيط، بتحليل هذا الجزء من الجدار، وكأنها تقضمه لتحدث ثقبا فيه، فتتدفع محتويات خلية البكتريا إلى السوائل المحيطة بها وتموت. ولا يحدث أي تغيير في جزئ اللايسوزيم بعد نهاية هذا التفاعل، بل يبقى ثابتا كما هو وينطلق ليبحث عن بكتريا أخرى يقضمها دون ملل أو كلل.

وهناك طائفة أخرى من الأنزيمات تتخصص في تحليل البروتينات، ومنها الأنزيمات الهاضمة، وهي توجد كذلك في جميع الكائنات الحية. ويمثل عملها هذا جزءا هاما من العمليات الحيوية التي تتم داخل الخلية الحية. وتقوم هذه الأنزيمات بتحليل سلاسل جزيئات البروتين إلى وحدات صغيرة أو إلى أحماض أمينية يمكن للجسم إعادة استخدامها بعد ذلك، لتكوين أنواع جديدة من البروتينات التي يحتاجها الكائن في بناء نفسه. وفي إجراء عملية التحلل للسلاسل البروتينية في المختبر، ويتم ذلك عادة بتسخين البروتين مع أحد الأحماض أو إحدى القواعد لفترة من الزمان.

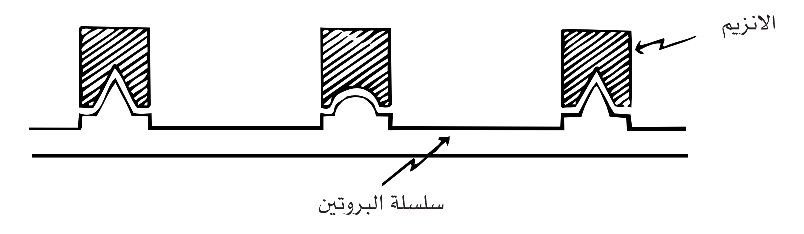
ولا يمكن للكائن الحي استخدام هذه الظروف غير المناسبة في تحليل سلاسل البروتينات، فرفع درجة الحرارة أو استخدام الوسط الحمضي أو الوسط القاعدي في هذا الشأن سيضر حتما بخلايا الكائن الحي، وسيتسبب في هلاكها، ولذلك نجد أن الخلية الحية قد سلكت مسلكا مناسبا لها، فاستخدمت بعض العوامل الوسيطة، وهي الأنزيمات، في هذه العمليات دون أن تحتاج إلى تغيير الظروف السائدة في الخلية.

وهناك فارق آخر بين عملية تحليل السلاسل البروتينية في المختبر وتحليلها بواسطة الأنزيمات في الخلية الحية، ففي الحالة الأولى سيؤدي تسخين البروتين مع الأحماض أو القواعد إلى تحلل السلسلة البروتينية بصورة كاملة حتى تعطي أصغر الوحدات المكونة للسلسلة وهي الأحماض الأمينية. أما في حالة الخلية الحية فإنها تستطيع أن تستخدم أنواعا متعددة من الأنزيمات، لكل منها تأثير نوعي، وبذلك يمكن أن تحلل السلسلة البروتينية في مواضع معينة منها دون أن تمس بقية روابط السلسلة.

ولعل من أغرب الأمور أن الأنزيمات المحللة للبروتين مثل التربسين والكيموتربسين، وكاربوكسي ببتيداز، هي نفسها بروتينات، ولكنها تستطيع أن تهاجم جزيئات البروتينات الأخرى وتحللها، أي أن فصل هذه الأنزيمات يرتد إلى الجزيئات الأصلية التي ركبت منها. كذلك لنا أن نتساءل كيف تقوم هذه الأنزيمات بعملها دون أن تحلل نفسها أو تدمر الخلية الحية التي تتكون فيها؟

لقد تبين أن أنزيمات البنكرياس في الإنسان يجري تخليقها من مواد وسيطة تعرف باسم «الزيموجين» أي مولدة الأنزيم، وهي مواد خاملة عديمة النشاط ولا أثر لها على الأنسجة التي تحتويها أو التي نشأت فيها. وعندما تفرز هذه الزيموجينات في الأمعاء الدقيقة، تلتقي بأنزيم خاص يحدث بسلسلتها البروتينية تغييرا طفيفا، فتتحول إلى أنزيمات نشيطة تبدأ عملها في الحال. ومن النادر أن يحل أنزيم محل آخر في عمله، فلكل أنزيم تجويف خاص به أو ما يسمى بالموقع النشيط، وهذا التجويف لا يتداخل فيه إلا جزء من السلسلة البروتينية.

ويمكن تشبيه ذلك بما نعرفه في عالم النجارة باسم «التداخل» حيث يشكل كل جزء من الخشب ليتداخل في الجزء الآخر. ويمكننا تمثيل هذا التداخل بالشكل التالي:



ومن الملاحظ أن الأنزيم (أ) لا يستطيع أن يحل محل الأنزيم (ب)، فلكل منهما مكان خاص على طول سلسلة جزيء البروتين يقبل التداخل فيه، ويستطيع فيه أن يزاول نشاطه الكيميائي. وإذا أردنا أن نوقف فعل أنزيم ما، فعلينا أن نملأ موقعه النشيط بإحدى المواد التي لا تقبل التحلل، وعندئذ لا يستطيع هذا الأنزيم أن يستغل موقعه النشيط في عمليات التحليل المخصص لها. وتسمى مثل هذه المواد التي لها القدرة على التداخل في

المواقع النشيطة للأنزيمات وتوقف نشاطها بالمواد المثبطة. وقد استغلت هذه الظاهرة في صنع بعض غازات الأعصاب الحديثة، مثل مركب ثنائي أيزوبروبيل فلو رو فوسفات الذي يثبط فعل التربسين الموجود بالبنكرياس، ويثبط كذلك فعل أنزيم الكيموتربسين وأسيتايل كولين الناقل للنبضات العصبية في الجسم.

ولا يحتوي الموقع النشيط في أغلب الأنزيمات إلا على 10٪ فقط من مجموع وحدات الأحماض الأمينية التي تتركب منها سلسلة الأنزيم. ففي حالة أنزيمات التربسين أو الكيموتربسين، نجد أن جزيئاتها تتركب من عدد من وحدات الأحماض الأمينية يتراوح بين 200-300 وحدة من هذه الوحدات، وهي تتكون في مجموعها من حوالي 3000-5000 ذرة من ذرات الكربون وغيرها من الذرات، وقد يبدو هذا العدد كبيرا، ولكن هذه الأنزيمات تعتبر صغيرة الحجم جدا إذا قورنت بغيرها من جزيئات البروتين.

ولا يتكون الموقع النشيط في هذه الجزيئات إلا من عدد صغير من وحدات الأحماض الأمينية لا يزيد على عشرين وحدة، فهل يعني هذا أن بقية الوحدات المكونة لجزيء الأنزيم لا فائدة منها ولا داعي لوجودها؟ وليس هذا صحيحا بالطبع، فإن وحدات الأحماض الأمينية المكونة لجزيء الأنزيم والتي لا تدخل في تركيب الموقع النشيط، تمثل الهيكل الأساسي لجزيء الأنزيم، وهي التي تساعد بالتوائها والتفافها على تكوين هذا الموقع النشيط والتقاء الوحدات الفعالة فيه.

٩ المنظمات الحيوية

المنظمات الحيوية مجموعة من المواد العضوية تساهم بطريقة أو بأخرى مع الأنزيمات في تنظيم العمليات الحيوية والتفاعلات الكيميائية التي تتم في خلايا الكائن الحي.

ونحن نعرف كثيرا من هذه المنظمات الحيوية بأسمائها الشائعة التي يتداولها الناس مثل الهرمونات والفيتامينات، ولكن هناك مجموعة أخرى من هذه المنظمات الحيوية يجهلها أغلب الناس مثل مركبات الكانين المنظمة لأعمال جميع العضلات اللاإرادية في الجسم، ومنظمات النمو التي تدفع خلايا البويضة المخصبة إلى الانقسام وتنظيم نمو الكائن الحي، إلى غير ذلك من الجزيئات الكيميائية المتخصصة التي تلعب دورا هاما في حياة مختلف الكائنات.

وتلعب البروتينات دورا رئيسيا في إنتاج مثل هذه المنظمات الحيوية، فنجد أن لكل نوع من هذه المنظمات نوعا خاصا من الأنزيمات التي تساعد على تكوينها، أو تؤدي إلى تنشيطها، أو توقف عملها وفعلها عند اللزوم.

15 مركبات الكاينين

مركبات الكاينين هي إحدى مفردات اللغة الكيميائية السائدة في أنسجة الكائنات الحية، وهي تلعب دورا هاما في العمليات الحيوية التي تتم داخل الخلايا، وتدفع العضلات اللاإرادية في الجسم إلى العمل المتواصل يوما بعد يوم.

ولا تفرز مركبات الكاينين من غدد خاصة كما في حالة الهرمونات، ولكنها تتكون في أغلب الأحوال في الأماكن التي تحتاج إلى فعلها الكيميائي. وهي لا تعيش طويلا، فهي سرعان ما تتفكك وتتحلل بعد أن ينتهي عملها الحيوي. وقد أطلق اسم الكانين على هذه المركبات لأنه وجد بالتجربة، أنها تسبب تقلص العضلات، وانبساط الأمعاء وانقباضها، ولهذا سميت بمركبات الكانين أي المركبات المسببة للحركة.

وتنتمي هذه المركبات إلى مجموعة البروتينات، فهي تتكون من تتابع من وحدات الأحماض الأمينية بنفس الأسلوب المتبع في تكوين جزيئات البروتين، ولكن الجزيئات في هذه الحالة تكون صغيرة نسبيا، فبينما يتكون جزيء البروتين العادي من آلاف من وحدات الأحماض الأمينية، نجد أن جزيء الكانين يتكون من عدد قليل من هذه الوحدات يقل في

أغلب الأحوال عن المائة.

وقد اكتشفت مركبات الكاينين أول الأمر في أثناء إجراء بعض التجارب الفسيولوجية على قطع من الأمعاء الدقيقة للإنسان. فعند تعليق قطعة من هذه الأمعاء أخذت عقب الوفاة، في محلول يماثل الدم في ملوحته وقلويته، ويمر به تيار من الأكسجين أخذت هذه القطعة في الانقباض والتمدد تلقائيا في حركة منتظمة يمكن ملاحظتها بالعين المجردة. ولم يستطع أحد أن يجد تفسيرا مقبولا لهذه الظاهرة حتى عام 1937 عندما قام بعض العلماء الألمان بإجراء تجربة فريدة في هذا الشأن أدت إلى اكتشاف الطريقة التي تعمل بها مركبات الكاينين.

وفي إحدى هذه التجارب عولجت قطعة صغيرة من قولون فئران التجارب بقليل من مصل دم الإنسان، وعولجت قطعة أخرى بمستخلص الغدة اللعابية، كل على حدة وقد لاحظ العلماء أن قطعة القولون لم تنقبض أو تتمدد في كلتا الحالتين. وعندما مزج هؤلاء العلماء مصل دم الإنسان بمستخلص الغدة اللعابية ثم أضيف هذا المزيج فور تحضيره مباشرة إلى قطعة القولون، انقبضت هذه القطعة بشدة في الحال. وقد لوحظ أن هذا المزيج لا يسبب انقباض القولون إذا ترك جانبا لفترة قصيرة لأنه يفقد فاعليته ونشاطه بعد عدة دقائق من تحضيره.

وتدل هذه التجارب على أن مزج المصل واللعاب يؤدي إلى تكوين عامل ما يتسبب في انقباض عضلات قطعة القولون. وقد تبين فيما بعد أن اللعاب يحتوي على أنزيم معين، وأن هذا الأنزيم يقوم باقتطاع أجزاء صغيرة من سلسلة أحد البروتينات الموجودة ببلازما الدم، وعند ظهور هذه الأجزاء الصغيرة منفردة تبدأ عملها في الحال على هيئة جزيئات الكاينين.

ويحتوي جسد الإنسان على ميكانيكية فائقة الدقة، تحقق له نوعا ثابتا من الاتزان على الدوام. فعندما تكون هناك بالجسد عملية ما تؤدي إلى إطلاق أحد العوامل العالية النشاط، نجد أن هناك عملية أخرى تطلق عاملا آخر يستطيع إيقاف فعل هذا العامل النشيط، إما بتحويله إلى مادة خاملة لا أثر لها، وإما بتحليله تحليلا نهائيا، وإلا انقلب هذا العامل النشيط إلى شيء شره مدمر يكتسح كل ما يقابله.

ويفرز الجسم عديدا من هذه المواد التي تؤدي إلى تقليل نشاط بعض

العوامل النشيطة أو وقف فعلها تماما. وهذه المواد متغايرة الأنواع، فلكل عامل نشيط مادة مقابلة من هذا النوع، وهي غالبا ما تكون من نوع الأنزيمات وتطلق عليها أسماء خاصة تنتهي بالمقطع «آز» «ase».

ومن الملاحظ أن عملية تدمير العامل النشيط أو تحليله، تتم بسرعة هائلة، بل هي في الحقيقة تتم في الحال، وعلى هذا الأساس لا يعتبر شيئا مثيرا للدهشة أن نجد الدم خاليا تقريبا من مركبات الكاينين، وذلك لأن الدم يحتوي على بعض الأنزيمات التي تمنع تكوين مركبات الكاينين من بلازما الدم.

وقد أمكن التعرف على تركيب بعض مركبات الكاينين، ومثال ذلك تلك المادة المسماة «براديكينين»، ومعناها بطئ الحركة، وهي تلك المادة التي يتسبب في تكوينها سم الثعبان وتؤدي إلى انقباض أمعاء فئران التجارب، والتي يمكن إطلاقها كذلك من بروتين الدم المسمى الجلوبيولين بواسطة أنزيم الهضم، التربسين. ويتركب البراديكينين من سلسلة من تسع وحدات من الأحماض الأمينية التي تترتب ترتيبا خاصا على طول السلسلة. ولو أننا قمنا بتحضير جزيء البراديكينين، وأضفنا الى سلسلته وحدة جديدة من وحدات الأحماض الأمينية لتغيرت صفاته كل التغيير، بينما لو رفعنا إحدى وحدات الأحماض الأمينية من سلسلته وتركنا الوحدات الثمانية الأخرى، لحصلنا على مادة عديمة النشاط ولا أثر لها على الإطلاق.

ويتضح لنا من ذلك أن ترتيب وحدات الأحماض الأمينية في جزئ هذه المادة يمثل رسالة معينة وتؤدي غرضا محددا، كما تدل على أن أنسجة الجسم المختلفة، التي قد تستجيب لمادة ما ولا تستجيب لأخرى، لها القدرة على قراءة هذه الرسائل والعمل بمقتضاها بكل دقة.

ولا تؤثر مركبات الكاينين في جميع عضلات الجسم ولكن أغلب العضلات التي تستجيب لهذه المركبات هي من النوع المعروف باسم العضلات اللاإرادية، مثل العضلات التي تتحكم في الأجزاء المجوفة من الجسم مثل الأمعاء والأوردة والشرايين، وقنوات القصبة الهوائية في الرئتين والقنوات التي يجري فيها البول. كذلك تؤدي بعض هذه المركبات إلى نفاذ الدم خلال جدران الشعيرات الدموية وبذلك يستخدمها الجسم في دفع الدم في الأماكن التي تعمل بصفة دائمة أو تعمل بكثرة، مثل عضلات جدران الأمعاء

وبعض الغدد التي تعمل بشكل متواصل.

ومن المعتقد أن بعض مركبات الكاينين تفرز في حالات الحساسية أو عند الإصابة بالارتكاريا أو في حالات الربو، ولا شك أنها تساهم إلى حد كبير في أعراض مثل هذه الأمراض. وعند الإصابة بالحروق أو الكدمات، يتورم الجلد في الأماكن المصابة، ويعزى ذلك إلى زيادة نفاذية الأوعية الدموية في هذه الأماكن بتأثير بعض مركبات الكاينين، مما يسمح للأجسام المضادة وكريات الدم البيضاء، وكلاهما كبير الحجم، بالمرور خلال جدران الشعيرات مع الدم للمساهمة في دفع الضرر ومكافحة آثار الإصابة.

ومن العجيب أن كل ما تستطيع أن تقوم به مركبات الكاينين، يستطيع أن يقوم به تقريبا مركب آخر يعرف باسم «الهستامين» والذي يفرزه الجسم عند الضرورة. ويبدو أن جسد الكائن الحي لديه أكثر من وسيلة لبلوغ نفس الهدف، (تماما مثل الرجل الذي يستخدم حزاما وحمالة لرفع سرواله)، وفي مثل هذا الموقف لا يمكن القطع بأن أحدهما أكثر أهمية من الآخر.

وعلى أية حال، تعتبر مركبات الكاينين أكثر فعالية من الهستامين. ويدل على ذلك استجابة الأنسجة الحية حتى للمحاليل الفائقة التخفيف من هذه المركبات، فتستجيب أنسجة رحم أنثى الفأر لمحلول من البراديكينين الذي يحتوي على جزء من عشرة آلاف مليون جزء من الجرام في السنتيمتر المكعب الواحد.

وتدل بعض الدراسات الحديثة على أن هناك بعض أنواع الأدوية التي تنتمي إلى مجموعة مسكنات الألم وخافضات الحرارة، مثل الأسبرين، وفنيل بيوتازون، أو الأميدوبايرين تستطيع أن تقلل من فعل بعض مركبات الكاينين وأثرها القابض على القصبة الهوائية في فئران التجارب، غير أنها تكون عديمة الأثر إذا كان الهستامين هو السبب في هذه الانقباضات.

وبالرغم من قلة معلوماتنا في هذا المجال، فإنه من الواضح أن مركبات الكاينين لها دور ما في مختلف العمليات الحيوية التي تجري في جسد الكائن الحي، ويكفي أنها المحرك الحقيقي وراء ذلك العمل الدائب الذي تقوم به العضلات اللاإرادية من ساعة إلى أخرى، وبذلك تعتبر مركبات الكاينين إحدى المفردات الهامة في هذه اللغة الكيميائية التي نحن بصدد الحديث عنها.

11 الهرمونات

تنتمي الهرمونات إلى مجموعة المنظمات الحيوية، وهي تلعب دورا هاما في بعض العمليات الحيوية التي تجري في جسد الكائن الحي. والهرمونات في أغلب الأحوال عبارة عن جزيئات بروتينية صغيرة الحجم نسبيا، وهي لا توجد في كل مكان في جسد الكائن الحي، ولكنها تفرز بواسطة أنواع خاصة من الخلايا التي تكون معا غددا خاصة لكل نوع من هذه الهرمونات، وهي تنطلق بعد ذلك في الدم الذي ينقلها إلى المواقع المطلوبة فيها أو تطلق مباشرة في مكان عملها. ولا تفرز الهرمونات من هذه الغدد بصفة مستمرة، ولكنها تفرز تحت بعض الظروف أو استجابة لبعض المؤثرات الخاصة.

وأهم ما يميز الهرمونات نوعيتها الفائقة، أي أن لكل منها أثرا محددا، ووظيفة ثابتة لا يتعداها أبدا، فالهرمون الواحد قد يؤثر تأثيرا خاصا في نوع ما من الخلايا، فيدفعها إلى الدخول في تفاعلات بعينها، ولكنه لا يؤثر بتاتا على بقية الخلايا الأخرى المحيطة بها، فتستمر هذه الخلايا في عملها المعتاد وكأنها لا تحس به على الإطلاق، وكأن كلا منها له لغته الخاصة به. ومن أمثلة هذه

الهرمونات، هرمون الأنسولين الذي يفرزه البنكرياس، والذي يتحكم في عمليات التمثيل الغذائي للسكريات.

وبالرغم من أن الأنسولين يتكون جزيئه من سلسلة بروتينية قصيرة نسبيا بالنسبة لجزيئات البروتين الأخرى، إلا أن جزيء الأنسولين المستخلص من الأبقار، يتركب جزئية من 777 ذرة مختلفة، منها 254 ذرة كربون، و 377 ذرة هدروجين، و65 ذرة نتروجين، و75 ذرة أكسجين، و 6 ذرات من الكبريت. وكما في حالة البر وتينات الأخرى تنتظم هذه الذرات على هيئة وحدات من الأحماض الأمينية على طول سلسلة الأنسولين، التي تحتوي على سبعة عشر نوعا مختلفا من هذه الوحدات يتكرر بعضها لتكوين سلسلة الأنسولين من 51 وحدة من وحدات الأحماض الأمينية. وقد تمكن العلماء عام 1955 من تحديد الطريقة التي تتتابع بها الأحماض الأمينية في سلسلة الأنسولين وتم بذلك تعيين التركيب الجزيئي لهذا الهرمون، وكان بذلك أول بروتين يتم تحديد تركيبه كاملا.

ومن أهم أنواع الهرمونات التي تحتويها أجساد الكائنات الحية تلك الهرمونات المعروفة باسم هرمونات الجنس، وهي تلك المواد التي تعطي كل جنس صفاته المميزة، وتساعد بذلك على التفرقة بين الذكر والأنثى. ولا تنتمي هرمونات الجنس إلى مجموعة البر وتينات، ولكنها تنتمي من الناحية التركيبية إلى مجموعة أخرى من المركبات العضوية تعرف باسم «ستيرويدات» «Steroids» .

وينتمي إلى هذه المجموعة أيضا ذلك المركب الكيميائي المعروف باسم «الكولسترول» وكلنا لا بد قد سمع عنه وعن الضرر الذي يحدثه إذا ترسب في الشرايين. وتنتمي إلى هذه المجموعة كذلك يعض المواد الهامة الأخرى مثل هرمون الكورتيزون والأحماض الصفراوية وغيرها، ولهذا فقد لقيت هذه المجموعة عناية خاصة واهتماما كبيرا من علماء الكيمياء.

وقد كان العالم الألماني «ونداوس» عام 1903 هو أول من قام بمحاولة جادة لمعرفة تركيب مركب الكولسترول. وقد اشترك مع وندواس عالم آخر يسمى «فيلاند» وقدما معا صيغة تركيبية للكولسترول عام 1928، واعتبر هذا نصرا رائعا في مجال علم الكيمياء التركيبية منح من أجله هذان العالمان جائزة نوبل في الكيمياء. وربما كان من أشد الأشياء إثارة للعجب

أنه قد تبين بعد مضي أربعة أعوام فقط على هذا الاكتشاف، أي في عام 1932، أن الصيغة التركيبية للكولسترول التي قدمها ونداوس وفيلاند، كانت صيغة خاطئة ولا تمثل التركيب الحقيقي لجزئ الكولسترول. وقد تم تعيين التركيب الحقيقي للكولسترول بعد ذلك على يد مجموعة من العلماء من بينهم فيلاند وبرنال عالم الأشعة السينية المعروفة في ذلك الوقت.

ولا تقلل هذه الواقعة من ذلك الجهد الذي بذله كل من ونداوس وفيلاند، بل نحن ما زلنا نعتبرهما من رواد كيمياء الستيرويدات، ولا شك أن بحوثهما وأعمالهما قد أدت إلى تمهيد الطريق أمام من أتى بعدهم من العلماء.

CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 CH_3 HO

الكولسترول

وتشبه الهرمونات الجنسية الكولسترول شبها كبيرا في التركيب، فهي تتكون مثله من نفس الحلقات وإن كانت هناك بعض الفروق الطفيفة الأخرى. وبالرغم من التشابه الكبير بين كل من هرمون الذكر المسمى «تستوسيترون» وهرمون الأنثى المسمى «أيسترون» إلا أن الأول منهما يتسبب في ظهور الخصائص الذكرية في الكائن الحي، بينما يؤدي الثاني إلى ظهور الصفات الأنثوية في الكائن الحي، ولا ندري كيف يفعل كل منهما ذلك!

O CH_3 HO

هرمون الأنثى

«ايسترون»

CH_3 OH CH_3 O

هرمون الذكر

«تستوستيرون»

وربما كانت هذه الحالة، أحد الأمثلة الجيدة التي تبين كيف أن تغييرا طفيفا في التركيب، قد يؤدي إلى تغير كبير في الأثر الكيميائي للمركب أو في وظيفته في الكائن الحي.

ونظرا لأهمية أفراد هذه المجموعة، ومنها هرمون الكورتيزون، فقد قامت هناك محاولات متعددة لتحضير بعض هذه المركبات، كانت أولاها وأهمها محاولة تحضير الكورتيزون بطريقة التخليق الكيميائي في المعمل.

وقد كان للكورتيزون أهمية خاصة في الأربعينات، ففي عام 1942، وكانت الحرب العالمية الثانية على أشدها بين الحلفاء وبين المحور (ألمانيا-إيطاليا-اليابان) سرت إشاعة غامضة بين قوات سلاح طيران الحلفاء تفيد أن سلاح الطيران الألماني يعطي الطيارين الألمان عقارا جديدا يساعدهم على مقاومة نوبات الإغماء التي تصيب الطيارين عند انقضاضهم بطائراتهم على الأهداف. ولم يستطع الحلفاء معرفة التركيب الحقيقي لهذا العقار، وأطلق عليه اسم مركب «E» وظن البعض أنه هو الكورتيزون.

وقد دفع هذا كثيرا من المعامل في أوروبا وأمريكا للقيام بمحاولات ودراسات لتحضير هذا الهرمون، ونجح البعض منها فعلا في تحضير قدر ما من الكورتيزون عن طريق فصله من كبد بعض الحيوانات. ولم تكن كمية الكورتيزون المحضرة بهذه الطريقة كافية، كما أنها كانت مرتفعة الثمن إلى حد كبير، ولذلك فقد اتجه الباحثون إلى تحضيره عن طريق التخليق الكيميائي لزيادة الكميات المنتجة منه والتقليل من تكلفته.

ونظرا لتعقيد تركيب جزيئات الستيرويدات فقد فكر العلماء في استخدام بعض المواد النباتية المشابهة للكورتيزون إلى حد ما، ووقع الاختيار على مادة تعرف باسم، سارمنتوجنين، توجد في بعض بذور النباتات التي تنمو بوفرة في جنوب أفريقيا. وتمكن العالم السويسري «رايشتاين» من إجراء بعض التطورات في تركيب هذه المادة وتحويلها إلى الكورتيزون، وبذلك أمكن تحضير هذا الهرمون الذي لم يكن يعرف خارج الجسد الحي ولا ينتج إلا في أجساد الحيوانات، واستخدم بعد ذلك في علاج روماتيزم المفاصل وغيرها من الحالات. وقد حصل «رايشتاين» على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1951 تقديرا لجهوده في هذا المجال.

وتسمى الغدد التي تفرز الهرمونات باسم الغدد الصماء. والسبب في

ذلك الاسم أن هذه الخلايا تصب إفرازاتها مباشرة في الدم أو في الجهاز اللمفاوي. ومع ذلك فهناك بعض من هذه الغدد، مثل البنكرياس، تصب إفرازها من الأنسولين في الدم مباشرة وتدفع إفرازاتها من العصارات الهاضمة عبر قناة خاصة في الأمعاء.

ويحتوي الجسم على أنواع مختلفة من الهرمونات، فالغدة الدرقية تحتوي على هرمون يحتوي على اليود في تركيبه، كذلك تفرز الغدد فوق الكلوية نوعا آخر من الهرمونات يعرف باسم «الأدرينالين». وتفرز هذه الغدد باستمرار قدرا صغيرا من الأدرينالين في تيار الدم ليتوزع في الجسم ويحسن أداء العضلات اللاإرادية. ويتدفق الأدرينالين في الدم عند الخوف أو الغضب بكميات أكبر من المعتاد، ويؤدي ذلك إلى تحسين أداء القلب والعضلات، وبذلك يمكن للجسم الهجوم والدفاع بطريقة أفضل. كذلك يتسبب هذا القدر الزائد من الأدرينالين في دفع الكبد إلى إفراز كميات أكبر من السكر في الدم مما يساعد على زيادة نشاط العضلات.

والأدرينالين الموجود بالجسم يسمى، «l-adrenaline» وذلك لأن بلوراته ومحاليله تدير مستوى الضوء المستقطب ناحية اليسار، وعند تحضير الأدرينالين على صورة «d-adrenaline» الذي يشبهه تماما من الناحية الكيميائية ولكنه يدير مستوى الضوء المستقطب إلى اليمين، وجد أن نشاط هذا النوع الأخير من الأدرينالين يقل كثيرا عن النوع الأول ويبلغ 1/12 من نشاطه على وجه التقريب.

ويتضح من ذلك أن لكل هرمون فعلا خاصا ووظيفة بعينها، وأن الخلية الحية تقوم بإعداد كل من هذه الهرمونات بطريقة خاصة تتلاءم مع وظيفته وهي تفعل ذلك مستخدمة نفس الوحدات البنائية المتوفرة بها من الجزيئات الكيميائية الصغيرة في كل حالة.

ولا شك أن تلك الفروق الطفيفة بين كل من هرمون الذكر وهرمون الأنثى وكذلك بين كل من شكلي الأدرينالين لتعد دليلا على مدى دقة لغة الكيمياء في أجساد الكائنات الحية.

12 الفيتامينات

الفيتامينات من أهم أفراد مجموعة المنظمات الحيوية، فهي تلعب دورا هاما في تنظيم العمليات الحيوية في جسد الكائن الحي، ويؤدي النقص فيها في كثير من الحالات إلى اختلال نظام الجسد والمرض وينتهي الأمر بالوفاة.

وقد كان البحارة هم أول من قاسى من نقص الفيتامينات، وذلك لأن رحلاتهم الطويلة في البحر كانت تستدعي بقاءهم فترة طويلة بين الماء والسماء، ولم يكن غذاؤهم وطعامهم متنوعا بشكل كاف. ويذكر التاريخ أن بعض هؤلاء البحارة كانوا يمرضون دون سبب معروف، وكان المرض ينتهي في أغلب الحالات بالوفاة، وقيل في ذلك الوقت أن البحارة يصابون بمرض خاص سمي الأسقربوط. وتروي لنا الكتب أن الرحالة الشهير «فاسكودي جاما» فقد حوالي مائة رجل من رجاله بسبب هذا المرض أثناء رحلته الطويلة حول رأس الرجاء الصالح. كذلك تروي قصص مماثلة عن بحارة الرحالة «ماجلان». فقد تساقط منهم عدد كبير صرعى دون سبب معروف، وإن كان يبدو أن هناك عاملا هاما كان ينقص غذاء هؤلاء البحارة في رحلاتهم الطويلة.

وقد اكتشف البحارة الإنجليز، بمحض الصدفة،

أنهم لا يصابون بهذا المرض الغريب أبدا إذا تناولوا بعضا من عصير الليمون على فترات أثناء رحلاتهم الطويلة. وأصبح تناول هذا العصير شيئا مقدسا على السفن البريطانية منذ ذلك الحين.

وقد تمكن الكيميائي البولندي «كازيمير فونك» «Casimir Funk» عام 1912 من فصل العامل المضاد لمرض البري بري من قشرة حبة الأرز، وأطلق عليه اسم «فيتامين» مشتقا النصف الأول من هذا الاسم من لفظ الحياة، وأطلق هذا الاسم بعد ذلك على جميع هذه العوامل الحيوية التي يجب توفرها في الغذاء. ولعدة سنوات طوال، لم يكن يعرف إلا نوعان من هذه الفيتامينات هما، ذلك الفيتامين الذي يشفي أمراض العيون وسمي «فيتامين أ»، و«فيتامين ب» الذي يشفي مرض البري بري، وبتقدم العلم في هذا الميدان أمكن اكتشاف أنواع أخرى من الفيتامينات سميت بالأحرف الهجائية مثل «أ»، «ب»، «جـ».

ويمكننا الآن أن نشتري هذه الفيتامينات من الصيدليات إذا أردنا ذلك أو إذا كان غذاؤنا لسبب من الأسباب لا يحتوي على الكفاية منها، إلا أنه من الأفضل دائما أن نعتمد على الغذاء الطبيعي كمصدر للفيتامينات لأسباب متعددة أهمها أن الغذاء الطبيعي قد يحتوي على أكثر من فيتامين واحد، بجانب الأملاح والأحماض العضوية وغيرها من المواد الهامة للجسم. وبالرغم من أن كل الفيتامينات يرمز لها بحروف الهجاء، إلا أن هناك اتجاها حديثا لتسميتها بأسماء خاصة، فيعرف الآن فيتامين ب باسم الثيامين، وفيتامين ب 2 باسم رايبوفلافين وهكذا.

ولا يحتاج جسد الكائن الحي إلا لقدر ضئيل جدا من الفيتامينات، وهي لا تدخل في كل العمليات الحيوية بالخلية الحية، ولكن كل منها يتخصص في عمل ما لا يحيد عنه. وتقدر كمية الفيتامين التي يحتاج إليها الجسم بعدة وحدات، فهي إما أن تقاس بالمليجرامات (جزء من ألف جزء من الجرام) أو بالميكروجرام (جزء من مليون جزء من الجرام) أو بالوحدات الدولية التي يساوي كل منها 1/40 من الميكروجرام.

فيتامين أ: يتركب جزئ فيتامين «أ» من عشرين ذرة من ذرات الكربون وهو ضروري لنمو الجسم نموا صحيحا، كما أنه هام جدا بالنسبة لسلامة وصحة الخلايا المكونة للجلد والخلايا المغطية لكل تجاويف الجسم من

الداخل. ويعاون فيتامين «أ» العين على استقبال الضوء، ويتسبب النقص فيه في عدم قدرة المرء على الرؤية الجيدة ليلا، فسائق السيارة قد يبهره ضوء السيارة المقبلة من الناحية الأخرى من الطريق ليلا، ولكنه يستطيع أن يرى الطريق جيدا بعد أن تمر هذه العربة. أما إذا كان هذا السائق مصابا بنقص في فيتامين «أ»، فإنه لن يستطيع أن يرى أمامه إلا عدة أمتار من الطريق فقط بعد أن تمر السيارة الأخرى وتعرف هذه الظاهرة باسم العشى الليلي.

ويوجد فيتامين «أ» في زيت كبد الحوت وفي الزبد والجبن واللبن والقشدة، كما يوجد على هيئة مركب الكار وتين الذي يتحول إلى فيتامين «أ» في الجسم، في كثير من الخضر وات وفي الجزر والسبانخ والطماطم، وفي المشمش والخوخ والموز. وغالبا ما يكون النقص في فيتامين «أ» ناتجا عن عدم قدرة الجسد على امتصاص الفيتامين، وذلك بسبب المرض أو غيره من الأسباب.

والكمية المطلوبة من فيتامين «أ» للاحتفاظ بالصحة الجيدة لا تزيد على 5000 وحدة دولية في اليوم. وتتسبب الزيادة في فيتامين «أ» في الشعور بالصداع والغثيان، والإصابة بالحساسية وتضخم الكبد والطحال، وسقوط الشعر، وأحيانا تعويق النمو في الأطفال. وقد لوحظت بعض هذه الأعراض الغريبة على أعضاء إحدى بعثات الاستكشاف القطبية، فقد أصيبوا جميعا بالصداع والدوخة والغثيان والإسهال بعد تناولهم كبد الدب القطبي وهو غني جدا بهذا الفيتامين.

فيتامين ب المركب: عبارة عن مجموعة من الفيتامينات التي تقبل الذوبان في الماء. وتختلف فيتامينات هذه المجموعة في التركيب الكيميائي، ولكنها تتشابه في وظائفها في الجسد الحي، وتوجد معا في كثير من المواد الغذائية. ويقع تحت هذه المجموعة، الثيامين (فيتامين ب1) والرايبوفلافين (ب2) والنياسين (حمض النيكوتين)، والبيريدوكسين (ب6)،، وحمض بانتوثينيك، وبيوتين، وحمض الفوليك، وسبانوكوبالامين (ب12).

الثيامين: فيتامين (ب1). يوجد مختزنا في الكبد، ويساعد على النمو السليم، وعلى سلامة عمل الأنسجة العصبية. وينتج عن نقص هذا الفيتامين مرض البري بري. ومن مظاهره الشعور بالإرهاق، وفقدان الشهية،

واضطراب الهضم، والهزال، وقد ينتهي الأمر بالإصابة بالشلل والوفاة. ويوجد هذا الفيتامين في بعض البقول مثل البسلة والفاصوليا، والفول السوداني، وتعتبر قشور الأرز وقشور القمح (الردة) من المصادر الغنية بالثيامين. وينتشر النقص في هذا الفيتامين بين سكان بلاد الشرق الأقصى، لأن غذاءهم الرئيسي يتكون من الأرز المبيض الذي نزعت منه القشور.

وقد اعتقد البعض أن تناول الثيامين يمنع البعوض من لدغ الإنسان، وليس هذا صحيحا بالطبع. وربما كان السبب في هذا الاعتقاد أن الذين تلتهب جلودهم من لدغ البعوض، يستريحون كثيرا عند تناول هذا الفيتامين. والكمية اللازمة يوميا من الثيامين لا تزيد على ١,2 مليجرام.

الرايبوفلافين: فيتامين «ب 2». تكمن أهمية هذا الفيتامين في أنه يكون جزءا هاما من أحد الأنزيمات التي توجد في كل خلايا جسم الإنسان، والذي له علاقة كبيرة بتنفس الخلايا. ومصادر هذا الفيتامين متعددة، فهو يوجد في الكبد، وفي البيض وفي البقول والطماطم وبعض أنواع الفاكهة. ويختزن الرايبوفلافين في الكبد وفي الكلية، ويتسبب النقص فيه، في ضعف نمو الأطفال، وتشقق الجلد حول الفم، وتورم اللسان، وازدواج الرؤية، كما يتسبب في تعرض الجلد لبعض الأمراض الجلدية الضارة. والكمية اللازمة لصحة الجسم ١,7 مليجرام في اليوم.

النياسين: يعرف كذلك باسم حمض النيكوتين، وهو من مجموعة فيتامين «ب» المركب. ويدخل هذا الفيتامين في نظام الأنزيمات التي تنقل الهيدروجين في الخلايا الحية وهي عملية هامة من عمليات النشاط الحيوي في الخلية. ويؤدي نقص النياسين بالجسم إلى مرض البلاجرا، وهو ينتشر بين سكان البلاد الذين يعيشون على الدقيق الأبيض والأرز المبيض. وينتج عن ذلك احمرار الجلد، ونقص في وزن الجسم، وحدوث إسهال وظهور بعض الاضطرابات العقلية على المريض. وقد يؤدي عدم علاج المريض إلى حدوث الجنون ثم الوفاة.

ويوجد النياسين في اللحم الأحمر والكبد والخميرة واللبن والبيض وفي بعض البقول. كذلك يمكن الحصول عليه من السمك، فكل 250 جم من السمك تحتوي على 450 مليجرام من الحمض الأميني «التربثوفان» ويستطيع الجسم أن يحول هذه المادة الأخيرة إلى 7,5 مليجرام من النياسين، ولهذا

السبب فإن من يتغذون على الأسماك لا يعانون نقصا في الفيتامين على الإطلاق. والكمية اللازمة من النياسين يوميا حوالي 5 مليجرامات، تزيد إلى 19 مليجرام بالنسبة للأفراد الذين يبذلون جهدا كبيرا في أعمالهم.

البيريدوكسين: فيتامين «ب6». يشبه هذا الفيتامين في عمله بقية أعضاء مجموعة فيتامين «ب» المركب، فهو هام لصحة الجلد، ولسلامة النشاط العصبي للكائن الحي، كما أنه له أهمية خاصة في عمليات تمثيل الأحماض الأمينية في الجسم وتكوين البر وتينات وغيرها. ويوجد البيريدوكسين مع غيره من أعضاء هذه المجموعة في الكبد والبيض والخميرة وبعض الأغذية المعتادة. والكمية اللازمة منه يوميا حوالي 2 مليجرام.

حمض البانتوثيك: أحد أعضاء مجموعة فيتامين «ب» المركب، وهو يوجد في جميع الأنسجة الحية، ولهذا أطلق عليه كلمة «بانتوثين» «pantothen» التي تعني «في كل مكان». وتكمن أهمية هذا الفيتامين في أنه يكون جزءا من أحد الأنزيمات ويعرف باسم «مساعد الأنزيم» «أ» «co-enzyme A»وهو يدخل في عديد من التفاعلات الحيوية في الخلية الحية. ويوجد حمض البانتوثيك في الكبد والخميرة والبيض وفي اللحوم ومنتجات الألبان، وفي العسل الأسود والفاكهة، وفي جميع الأطعمة الطازجة، كما أنه يصنع في الأمعاء بواسطة البكتريا، ولهذا يندر أن يصاب الفرد العادي بنقص في هذا الفيتامين.

ويعد غذاء ملكات النحل المعروف باسم «الغذاء الملكي» من أهم مصادر هذا الفيتامين. ويؤدي النقص في هذا الفيتامين إلى نقص في النمو، والإحساس بالصداع والشعور بالغثيان، وتغير لون الشعر، كما يؤدي أحيانا إلى الشلل ثم الوفاة. ولا تعرف حتى الآن الكمية اللازمة يوميا لصحة الجسد من هذا الفيتامين، ولكن الكمية التي تعطي من هذا الفيتامين مع غيره من أعضاء هذه المجموعة لا تزيد عادة على عشرة مليجرامات.

البيوتين: أحد أعضاء مجموعة فيتامين «ب» المركب، وسمي فترة بفيتامين «هـ» «H>، ويوجد هذا الفيتامين في كثير من الأطعمة كما يتكون في الأمعاء بواسطة بعض أنواع البكتريا. وقد تبين أن بعض الحيوانات أو الإنسان إذا تغذت على زلال البيض النيئ فترة طويلة نتجت عن ذلك أضرار كثيرة، منها نقص الوزن وفقد استقامة الجسم وغير ذلك من الأعراض. وقد

استطاع البيوتين أن يعالج هذه الإعراض، ولذلك سمي العامل المضاد لزلال البيض. ولا يحتاج الجسم من هذا الفيتامين إلا إلى قدر ضئيل جدا، ولهذا يندر أن يشعر الإنسان بنقص في هذا الفيتامين. حمض الفوليك: أحد أعضاء مجموعة فيتامين «ب»، المركب، وهو حمض مشتق من حمض الجلوتاميك. وقد سمي هذا الفيتامين بذلك الاسم لأنه اكتشف أول مرة في بعض الخضراوات ذات الأوراق الخضراء، حيث كلمة «فوليوم «folium» اللاتينية تعني ورق الشجر. ويؤدي النقص في هذا الفيتامين إلى فشل نخاع العظام في تكوين كريات الدم الحمراء مما يؤدي إلى الإصابة بالأنيميا.

ويوجد حمض الفوليك في الفواكه الطازجة وفي الكبد والكلية وفي الخميرة. والكمية اليومية اللازمة للبالغ حوالي 50 ميكروجرام، وهو يعطي للمصابين بالحروق أو بالإشعاع، أو المصابين بكسور في العظام، وكذلك للمصابين بالأنيميا، وعادة ما يضاف إليه فيتامين «ب12» في الحالة الأخيرة.

فيتامين ب12: مركب عضوي يحتوي على فلز الكوبالت في جزئيه، ويعرف باسم سيانوكوبالامين. وقد تبين أن قدرا ضئيلا من هذا الفيتامين، يكفي لعلاج مرض الأنيميا الخبيثة، وهذا القدر لا يزيد على جزء من مليون جزء من الجرام، أي ميكروجرام، واحد في اليوم، وعلى ذلك فإن الكمية المطلوبة للمحافظة على صحة الشخص البالغ من هذه المادة لا تزيد على 3 ميكروجرام (0,003 من المليجرام) في اليوم الواحد. ويوجد هذا الفيتامين في الكبد واللحوم والبيض واللبن. وقد قامت إحدى الكيميائيات البريطانيات بتعيين التركيب الجزيئي لهذا الفيتامين، وحصلت بذلك على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1964.

فيتامين «ج:< حمض الاسكوربيك. اكتشف هذا الفيتامين عام 1937، وقد حصل مكتشفه على جائزة نوبل في ذلك العام. ويشبه هذا الفيتامين في تركيبه السكر (الكربوهدرات)، وهو يلعب دورا هاما في تكوين الأنسجة الضامة في الجسم وأنسجة العظام والأسنان وسلامة جدران الأوعية الدموية في الجسم. ويختزن هذا الفيتامين في الجسم في بعض الغدد، مثل الغدة الكظرية، وكذلك في الكبد والكلية وبعض أجزاء الجسم الأخرى. وهو يطلق في الجسم أثناء المجهود العضلي غير العادي أو أثناء التوتر العصبي الشديد.

وينتج عن نقص فيتامين «ج» الإصابة بمرض الأسقربوط حيث تتورم المفاصل، وتسبب آلاما مبرحة، وتتورم اللثة وتصبح الأسنان غير ثابتة، ويصحب ذلك حدوث نزيف تحت الجلد. ويوجد فيتامين «ج» في كثير من الخضراوات ذات الأوراق الخضراء، وفي الفاكهة، خاصة الموالح، كما يوجد قي الكرنب والفلفل الأخضر. وتقوم كثير من الحيوانات بتكوين هذا الفيتامين في جسدها، ولكن الإنسان وبعض الحيوانات الأخرى مثل القردة وفئران التجارب وبعض أنواع البكتريا، لا تفعل ذلك، ولا بد لها من الحصول عليه عن طريق الغذاء من الخارج.

والكمية اللازمة لصحة الإنسان تبالغ حوالي 30-80 مليجرام يوميا. ويتأثر فيتامين «ج» بالحرارة، فهو ينحل بالتسخين، ولهذا لا بد من حفظ الفاكهة والخضراوات في الثلاجات عند تخزينها حتى لا تفقد ما بها من فيتامين «جـ». وينحل جزء كبير من فيتامين «جـ» عند طهي الطعام، خاصة عندما يتم ذلك في أوعية مفتوحة معرضة لأكسجين الهواء. ويمكن الاحتفاظ بجزء كبير من هذا الفيتامين كما هو، عند استخدام أوعية الضغط في طهي الطعام وذلك لأن تسخين الطعام في هذه الحالة يتم بعيدا عن أكسجين الهواء.

وقد ظن بعض العلماء أن تناول جرام واحد من هذا الفيتامين كل يوم، يمنع إصابة الفرد بالبرد ونزلات الزكام، ويقلل من فرص المرض بصفة عامة، وأن تناول جرعة كبيرة تبلغ عشرة جرامات في اليوم، قد تحسن كثيرا من حالة المرض بالسرطان، ولكن التجارب العلمية المتأنية التي أجريت في هذا المجال دلت على أن فيتامين «جـ» ليست له فوائد علاجية لهذه الأمراض.

فيتامين «د:< عبارة عن مجموعة من المواد التي تقبل الذوبان في الدهون، ومنها فيتامين «د2» (ارجوكالسيفيرول)، وفيتامين «د3» (كوليكالسيفيرول). وتوجد مجموعة فيتامين «د» في زيت كبد الحوت، وفي بعض النباتات التي تحتوي على مواد يمكن أن تتحول إلى هذا الفيتامين تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية، والتي تسمى عادة بمشابهات الفيتامينات «provitamins»، مثل الارجوستيرول، ونوع من مركبات الكولسترول.

ويعتبر فيتامين «د» مضادا للكساح عند الأطفال، فهو يحافظ على

توازن أيونات الكلسيوم والفوسفور في الجسم، ويتسبب النقص فيه في حدوث الحالة التي نعرفها باسم لين العظام، وذلك لتأثر فوسفات الكلسيوم الموجودة بالعظام التي لا تتحمل وزن الجسم فتتحني تحت ثقله وتتقوس. وينتج كذلك عن هذا النقص كبر حجم المفاصل، وعدم انتظام الأسنان وتغير شكل القفص الصدري، وضعف العضلات العام.

ويتأثر الكبار كذلك بنقص هذا الفيتامين، فيؤدي النقص فيه إلى سحب فوسفات الكلسيوم من العظام، مما يجعلها أكثر مسامية وأكثر عرضة للكسر. والكمية اللازمة من فيتامين د لصحة الجسم تبلغ حوالي 400 وحدة دولية في اليوم بالنسبة للأطفال والسيدات الحوامل، وهي أصغر من ذلك بالنسبة للبالغين. ويمكن الحصول على هذا القدر من فيتامين «د» يوميا بتعريض الجسم للأشعة فوق البنفسجية لمدة معقولة، حيث تتحول بعض مشابهات الفيتامينات الموجودة تحت الجلد إلى هذا الفيتامين، ولهذا يندر أن يوجد مرض الكساح في البلاد المشمسة. والزيادة الكبيرة في كمية فيتامين «د» ذات أثر سيئ على صحة الإنسان، فهي تؤدي إلى سحب الأملاح من العظام، وزيادة الكلسيوم في الدم وتكوين الحصى في الكليتين، وترسب الكلسيوم في الأنسجة اللينة.

فيتامين ك: يعرف باسم فيللوكينون، وهو مضاد للنزيف ويسبب تخثر الدم. وقد تم اكتشاف مشابه له سمي فارنوكينون (فيتامين ك2) عام 1943، وينتج الآن في السوق العالمي مركب تخليقي باسم «مناديون» له نفس نشاط وفعل هذا الفيتامين. وتوجد كميات مناسبة من هذا الفيتامين في السبانخ، وفي زيت الصويا، والطماطم وقشور الأرز كما يتم تكوينه في الجسم بواسطة نوع من البكتريا الموجودة بالأمعاء. ويعتبر هذا الفيتامين مسئولا عن تكوين مادة البروثرومبين في الكبد وهي التي تؤدي إلى تجلط الدم.

ويندر أن يتعرض الشخص البالغ لنقص هذا الفيتامين لوجود البكتريا التي تكون هذا الأنزيم في أمعائه. أما الأطفال حديثو الولادة، فلا توجد في أمعائهم هذه البكتريا كما أن كمية الفيتامين التي يحصل عليها الطفل من جسد أمه قليلة جدا، ولهذا يتعرض الأطفال حديثو الولادة في بعض الأحيان لأنواع من النزيف، ويمكن التغلب على ذلك بإعطاء الوليد جرعة صغيرة من فيتامين ك.

فيتامين E: عبارة عن مجموعة من المركبات متشابهة التركيب تعرف باسم «توكوفيرول» «Tocopherols». ويسمى هذا الفيتامين بالفيتامين المضاد للعقم، حيث تبين أن النقص فيه يؤدي إلى حالات من العقم عند الفئران، وعدم وصول الدم إلى العضلات. ولا توجد هناك أدلة على أن هناك نقصا ما في هذا الفيتامين عند الإنسان. وقد قام بعض العلماء بمحاولة لاستخدامه في علاج بعض الاضطرابات الدموية، خاصة الحالات التي لا يصل فيها الدم إلى الأطراف، ولكن النتائج العامة لهذه الدراسات ليست مرضية. والكمية اللازمة لصحة الجسم حوالي 30 وحدة دولية يوميا.

ولا تتشابه الفيتامينات في تركيبها، بل هي تختلف فيما بينها اختلافا كبيرا، فمنها ما تحتوي جزئياته على الكربون والهيدروجين، ومنها ما يحتوي على النيتروجين، ومنها كذلك ما يوصف بأنه حمض أو كحول، كما أن منها ما ينتسب إلى مجموعة السيترويدات مثل فيتامين «د». ولا شك أن هذا الخلاف في التركيب بين الفيتامينات، هو الذي جعل لكل منها معنى خاصا في لغة الكيمياء في أجساد الكائنات الحية، وجعل لكل منها وظيفة بعينها في العمليات الحيوية التي تتم داخل الخلية الحية.

وقد لوحظ أن بعض هذه الفيتامينات قد تصلح كفيتامين في إحدى فصائل الثدييات، ولكنها لا تصلح لذلك في فصيلة أخرى، ويرجع ذلك أساسا إلى أن جميع الكائنات الحية لا تتكلم نفس اللغة ولا تستخدم نفس المصطلحات الكيميائية، بل توجد هناك بعض الفروق الطفيفة في كيمياء التمثيل الغذائي بين هذه الطوائف. ولأن الفيتامين لا يشترك إلا في مرحلة معينة من عمليات التمثيل الغذائي، فإن غياب الفيتامين عن الخلية الحية يتسبب في توقف هذه المرحلة، مما قد يؤدي كذلك إلى توقف ما يتلوها من مراحل، ولا بد أن ينتج عن ذلك قصور ما في عمليات التمثيل الغذائي تظهر آثاره فيما بعد على هيئة أعراض المرض.

ونظرا لأهمية الفيتامينات لجسد الكائن الحي فقد ظن البعض أن استخدام كميات كبيرة من هذه الفيتامينات قد يشفي بعض الأمراض خاصة تلك الأمراض الخاصة بالجهاز العصبي، ولكن تبين بعد ذلك أن الجسم لا يستخدم منها إلا ذلك القدر الضئيل الذي ذكرناه أمام كل منها من قبل، ولا يستطيع الاستفادة من الكميات الزائدة منها. وتؤدي الزيادة

في تناول الفيتامينات إلى الإضرار بصحة الفرد وإصابته ببعض العلل والأمراض، ومثال ذلك ظهور بعض أعراض التسمم عند تناول جرعات كبيرة من فيتامين «أ» أو فيتامين «د»، أو فيتامين «ك»، وكثيرا ما يصحب هذه الأعراض تضخم الطحال وسقوط الشعر وآلام العظام.

ويتضح من كل ذلك أن هناك توازنا دقيقا يجب المحافظة عليه ضمانا لصحة جسد الكائن الحي، فنقص الفيتامينات يؤدي إلى الإصابة بعديد من الأمراض، وزيادتها عن الحد المطلوب يؤدي كذلك إلى الإصابة بغيرها من الأمراض. أما الفائدة الحقيقية من هذه الفيتامينات فتكون عند حصول الجسد على القدر المناسب منها والذي يكفي فقط لاستكمال العمليات الحيوية التي تجري داخل الخلية الحية.

13 العوامل الوراثية

يتبين لنا من الباب السابق أن البروتينات تلعب دور هاما ورئيسيا في حياة الكائن الحي فهي التي تقوم بأغلب الوظائف الحيوية في الجسم كما أنها تضفي على هذا الكائن الصفات الرئيسية التي يتميز بها جنسه عن بقية الأجناس. والسؤال الذي يطرح نفسه الآن هو كيف تقوم الخلية الحية بتصنيع هذه الجزيئات المعقدة التركيب وكيف تتحكم في تكوين أنواعها المختلفة بهذه الدقة الفائقة؟

وتقع مسئولية تصنيع البروتينات في الخلية بالدرجة الأولى على عاتق بعض الأجسام النووية الخاصة التي تعرف باسم الكروموسومات (الصبغيات) التي ذكرناها من قبل. ولو أننا رأينا عملية انقسام الخلايا تحت الميكروسكوب لرأينا شيئا مثيرا يعد من أعجب العمليات البيولوجية على الإطلاق. فقبل أن تنقسم الخلية الأم تظهر بها مجموعتان من الكروموسومات المتشابهة بدلا من المجموعة الأصلية، أي ينتج زوجان متماثلان من كل كروموسوم. وتلتوي كل مجموعة من هذه الكروموسومات على نفسها أولا ثم تنفصل عن بعضها البعض وتهاجر كل منها إلى أحد أطراف الخلية ويتكون غشاء رقيق يفصل بين نصفي الخلية

فتنتج بذلك خليتان جديدتان. ونلاحظ في عملية الانقسام أن الخلايا الجديدة الناتجة تحتفظ كل منها بمجموعة من الكروموسومات مشابهة تماما في النوع والعدد لكروموسومات الخلية الأم.

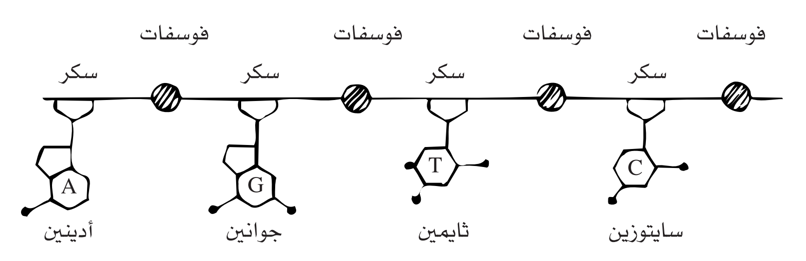
ويتبين من ذلك أن عملية الانقسام لا يصحبها نقص في عدد الكروموسومات بل إن هذا العدد يظل ثابتا في كل خلية على الدوام مهما تعددت عملية الانقسام. فنجد مثلا أن جميع خلايا الإنسان تحتوي على 46 (كروموسوم) لا تزيد ولا تنقص بينما تحتوي خلايا الفأر على 40 كر وموسوم وهكذا. وهذه الكروموسومات هي التي تعطي الصفات الرئيسية للكائن الحي وتحدد نوعه وهي التي تحمل جميع التعليمات الخاصة بالصفات الوراثية للنوع الواحد، فطول القامة أو قصرها ولون الشعر والعيون إلى غير ذلك من الصفات ترجع كلها إلى ما تحدده التعليمات المنقوشة على هذه الكروموسومات، وأي تغير في تركيب هذه الكروموسومات الكيميائي لابد وأن يترتب عليه تغير ما في الصفات العامة للكائن الحي.

وقد أحاط الغموض والإبهام بهذه الكروموسومات لفترة طويلة وعجز العلماء عن فهم دورها الحقيقي حتى وقت قريب ولكن تقدم مختلف العلوم الطبيعية واستحداث كثير من طرق الأداء الجديدة سمح لهم بقدر من المعرفة عن طبيعة هذه الكروموسومات وتركيبها الجزيئي وقطعوا في ذلك شوطا كبيرا، وإن كان مازال أمامهم الكثير في هذا المجال. ومن المعروف اليوم أن كروموسومات الخلية تتكون أساسا من صنفين هامين من الجزيئات الكيميائية، الصنف الأول: جزيئات البروتين التي سبق ذكرها، والصنف الثاني: يعرف باسم حمض ديزوكسي رايبوز النووي DNA وهي تمثل اختصارا يتكون من الأحرف الأولى لاسمه العلمي. وتلتف جزيئات البروتين حول جزيئات الحمض النووي DNA مكونين معا ما نسميه بالكروموسوم.

وقد اتضح أن كمية الحمض النووي DNA في كل كر وموسوم ثابتة لا تتغير. وينبني على ذلك أن تصبح كمية الحمض النووي في خلية من نفس النوع ثابتة على الدوام لاحتواء كل من هذه الخلايا على نفس العدد من الكروموسومات. كذلك فإن خلية الحيوان المنوي أو خلية البويضة التي تحتوي على نصف العدد من الكروموسومات بالنسبة للخلية العادية للكائن الحي تحتوي على نصف الكمية من الحمض النووي بالنسبة لمثيلاتها من

الخلايا العادية. أما خلايا الكبد الثنائية التي تحتوي كل منها على نواتين فإن بها ضعف العدد من الكروموسومات وبذلك فإنها تحتوي على ضعف الكمية من الحمض النـووي DNA. وهذا الثبات في كمية الحمض النـووي DNA بالنسبة لكل كروموسوم هو ما يجب أن نتوقعه إذا كان هذا الحمض هو العامل الرئيسي الذي يتحكم في الصفات الوراثية. والآن مم يتـركب هذا الحمض النووي DNA ؟ هناك نوع ما من التشابه بين الحمض النووي DNA وبين جزيئات البروتين، فكلاهما يتكون من جزيئات ضخمة عملاقة تتكون من آلاف الذرات تترتب على هيئة سلسلة رئيسية طويلة تتفرع منها أفرع جانبية، إلا أنه في حالة البروتينات يوجد هناك حوالي عشرين نوعا من الأفرع الجانبية وهي تتوقف على نوع الحمض الأميني الذي يدخل في تركيب السلسلة البروتينية، بينما لا تحتوي سلسلة الحمض النـووي DNA إلا على عدد محدود من الأفرع الجانبية لا تزيد عـلى أربعـة أفـرع، وهـي تتركب من أربعة أنواع من الأمينات الحلقية لا تزيد عنها.

وتنطبق هذه الصورة العامة على جميع الأحماض النووية الموجودة بجميع الكائنات الحية من الفيروسات والبكتريا إلى النبات والحيوان، حتـى أنـه يقال إن هناك صلة وثيقة بين الرجل والنحلة والزهور والميكروبات، ولكنها بالقطع ليست صلة في الرحم بل هي صلة في الأصول التركيبية للحمض النووي. ويمكن استخلاص الأحماض النووية من الخـلايا بطـرق بسـيطـة وعزلها في أنابيب الاختبار وقد أجريت عليها عشرات من التـجارب أدت إلى اكتشاف تركيب هذه الأحماض وقد تبين أن الحمض النووي يتركب من سلسلة طويلة جدا تتكون من وحدات متبـادلـة من وحدات السـكر ومن مجموعات ا لفوسفات. ومن الملاحظ أن جزيئات السكر التـي تـدخل فـي تركيب هذه السلسلة هي دائما من نوع خاص لا يتغير يعرف بـاسـم سـكـر ديزوكسي رايبوز. وإليه ينسب المقطع الأول من اسم الحمض النووي نفسه. كذلك ترتبط جزيئات السـكـر المـذكـور دائـمـا بـنـفـس الأسـلـوب بمـجـمـوعـة الفوسفات «مجموعة حمض الفوسفوريك» مما يجعل السـلـسـلـة الـطـويـلـة للحمض النووي غاية في الانتظام حيث تتابع فيها الوحدات بالشكل التالي: سكر-فوسفات-سكر-فوسفات-آلاف المرات. ورغم انتظام السلسلة الرئيسية بهذا الشكل الدقيق فإن الأفرع الجانبية لها ليست بهذا الانـتـظـام تـمـامـا.



سلسلة مفردة للحمض النووي DNA

وتتكون الأفرع الجانبية من بعض القواعد العضوية الحلقية التي تتصل بوحدات السكر على طول السلسلة وهي لا تفعل ذلك في تتابع منتظم ولكنها تختلف في الترتيب من قطاع لآخر خلال السلسلة الطويلة. ولا تتنوع القواعد العضوية التي ترتبط بوحدات السكر تنوعا حرا مطلقا ولكن هناك أربعة فقط من هذه القواعد هي التي لها القدرة على هذا الارتباط وهي تعرف بأسماء خاصة هي:

الادينين Adenine A

الجوانين Guanine G

الثايمين Thymine T

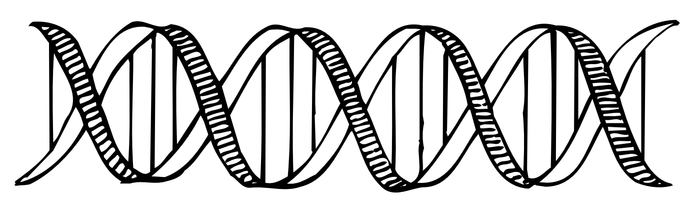
السايتوزين Cytisine C

وترتبط هذه القواعد الأربعة مع وحدات السكر على طول سلسلة الحمض النووي، وهي قد تترتب بطرق متعددة خلال السلسلة الطويلة، فقد يتلو بعضها البعض، وقد تتكرر الواحدة منها أكثر من مرة وهكذا.

ويمكننا أن نتصور الاحتمالات الضخمة التي تنشأ عن هذا الترتيب إذا علمنا أن ارتباط هذه القواعد بوحدات السكر قد يتكرر آلاف المرات على طول سلسلة الحمض النووي، حتى أنه يمكننا القول أنه لا يوجد هناك حمضان نوويان متشابهين تمام الشبه. ولهذا الترتيب أهمية قصوى حيث أنه هو الأساس الذي تبنى عليه الصفات الوراثية لكل حمض نووي كما سنرى فيما بعد.

والآن وقد علمنا أن كل خيط من خيوط الحمض النووي يتكون من سلسلة طويلة تتتابع فيها وحدات السكر والفوسفات وترتبط بها بعض الأفرع الجانبية من القواعد العضوية الأربعة السالفة الذكر، يبقى أمامنا سؤال يحتاج إلى بعض التوضيح، فهل يمتد هذا الجزيء العملاق على هيئة سلسلة منبسطة أو يلتوي على نفسه هو الآخر مثل جزيئات البروتينات؟

وقد تمكن العلماء من الإجابة على هذا التساؤل بعد دراسة بعض هذه الأحماض النووية بالأشعة السينية، فقد اتضح أن جزيئات هذه الأحماض لا توجد على هيئة سلاسل منبسطة، بل توجد دائما على هيئة لولب أو حلزون منتظم. كذلك اتضح فيما بعد أن الحلزون الواحد يتكون من سلسلتين، أي من جزيئين من جزيئات الحمض النووي DNA ملتفين حول محور واحد.



الحلزون المزدوج للحمض النووي DNA

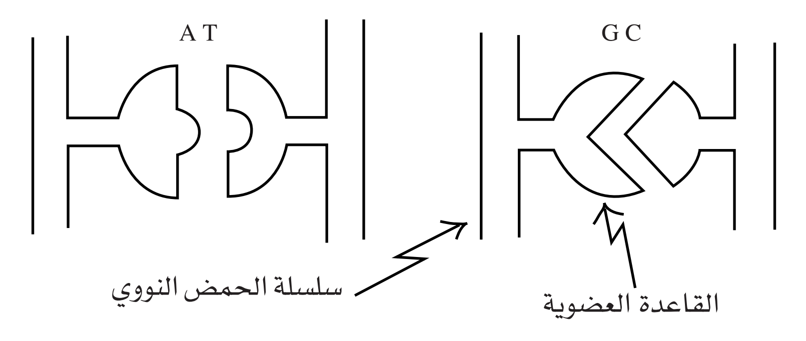
وتتماسك سلسلتا الحمض النووي في هذا الحلزون المزدوج عن طريق ارتباط القواعد العضوية في إحدى السلسلتين مع القواعد العضوية في السلسلة الثانية على طول الحلزون. ولا ترتبط القواعد العضوية الأربعة ببعضها البعض بطريقة عشوائية، بل هي تفعل ذلك طبقا لنظام خاص

يلعب فيه حجم جزيء هذه القاعدة دورا هاما، فهي تكون أزواجا خاصة بحيث يتكون كل زوج منها دائما من قاعدة عضوية كبيرة الحجم مثل ألا دينين A أو الجوانين G مع قاعدة عضوية أخرى صغيرة الحجم مثل الثايمين T أو السايتوزين C. ولا يمكن أن يتكون الرباط بين قاعدتين صغيرتين في الحجم لعدم استطاعتهما ملء الفراغ الواقع بين سلسلتي الحلزون، وبذلك يصعب عليهما حتى التلامس مع بعضهما. كذلك لا يمكن حدوث ازدواج أو ارتباط بين قاعدتين عضويتين كبيرتين في الحجم مثل ألا دينين A أو الجوانين G لأن تقابلهما داخل الحلزون سيملأ فراغا أكبر من الفراغ الواقع بين سلسلتي الحلزون المنتظم مما يؤدي إلى انبعاج هذا الحلزون والإخلال بنظامه وبشكله العام. وتبعا لهذه القاعدة فان تكوين حلزون مزدوج منتظم من سلسلتين من سلاسل الحمض النووي DNA يقتضي أن تقع قاعدة عضوية صغيرة في إحدى السلسلتين أمام قاعدة كبيرة في السلسلة الأخرى حتى تتوفر الظروف الملائمة لحدوث الارتباط بين هاتين القاعدتين.

ويتكون الرباط بين القواعد العضوية في سلسلتي الحمض النووي عن طريق الرباط الهيدروجيني الذي ذكرناه من قبل عند شرحنا لسلاسل البروتينات، فتنجذب ذرة الهيدروجين المتصلة بذرة النيتروجين في إحدى القواعد العضوية إلى ذرة الأكسجين في القاعدة الثانية. وقد اتضح من دراسة عدد كبير من الأحماض النووية إن القاعدة العضوية المسماة أدينين A لا تزدوج، أي لا ترتبط بالرباط الهيدروجيني، إلا مع الثايمين T، كما أن الجوانين G لا يرتبط إلا بالسايتوزين C، ولا يمكن حدوث أي ازدواج من نوع آخر بين هذه القواعد، حيث أن هذا الازدواج A مع T، وG مع C يحقق جميع الشروط السابقة من ناحية الحجم المناسب ومن ناحية القدرة على تكوين الرباط الهيدروجيني في أفضل صورة:

A T G C

ويلاحظ في الشكل السابق أن الازدواج بين كل من السايتوزين C والجوانين G يأتي نتيجة لوجود ثلاثة أربطة هيدروجينية بينما ينشأ الازدواج بين الأدينين A والثايمين T نتيجة لوجود رباطين هيدروجينيين فقط. ويمكن تبسيط عملية الازدواج السابقة الذكر إذا شبهنا هذه القواعد ببعض لعب الأطفال التي تحمل أشكالا معينة من التجاويف والنتوءات والتي لا يمكن تركيبها أو تجميعها إلا إذا تقابل كل نتوء مع تجويف مناسب له في الشكل والحجم. وعلى ذلك فكل قطعة من هذه اللعب لا تتداخل إلا في قطعة أخرى معينة مناسبة لها. وعلى هذا فيمكن تمثيل عملية ازدواج القواعد العضوية بالشكل التوضيحي التالي:



وتعني عملية الازدواج السابقة أنه إذا وجد جزيء من ألا دينين A في الحمض النووي فلا بد أن يوجد به جزيء آخر من الثايمين T، وأنه إذا وجد ألف جزيء من A فلا بد أن يوجد ألف جزيء آخر من T في نفس الحمض النووي. وقد اتضحت صحة هذه القاعدة بتحليل الحمض النووي، فقد وجد أنه يحتوي على كمية من ألادينين A تساوي تماما كمية الثايمين T. كذلك وجد أن كمية الجوانين G تساوي كمية السايتوزين C في نفس الحمض النووي. ويعتبر هذا إثباتا عمليا لنظرية الازدواج السالفة الذكر. ويعتبر هذا الازدواج بين القواعد العضوية في كل سلسلة هو السبب الرئيسي في أن هاتين السلسلتين تتخذان شكل الحلزون.

ويمكن تصور شكل الحلزون المزدوج للحمض النووي DNA على أنه يشبه سلما من الحبال ملتويا حول نفسه أو سلم الحريق الحديدي الذي يدور حول محور في وسطه بحيث تشبه جوانب هذا السلم أو الحبلان

الرئيسيان فيه سلاسل السكر والفوسفات في حين تشبه الدرجات الموصلة بينهما أزواج القواعد العضوية المرتبطة مع بعضها البعض بالرباط الهيدروجيني.

سكر فوسفات

القواعد العضوية

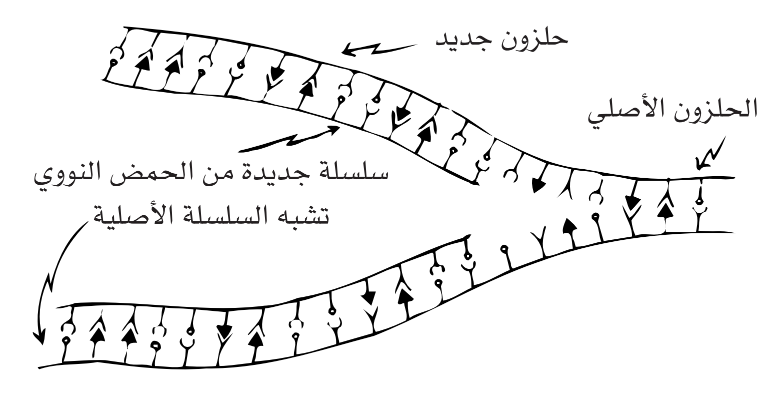
A T G C T A C G

ازدواج سلسلة الحمض النووي DNA داخل الحلزون

وعلى الرغم من الالتزام الدقيق بقاعدة ازدواج القواعد العضوية داخل الحلزون بحيث لا يرتبط إلا A مع T، وC مع G فقط، فإن هذا لا يفرض أي حظر على النمط الذي تترتب به هذه الأزواج خلال حلزون الحمض النووي، فأي زوج منها قد يتلو الزوج الآخر أو قد يتكرر الزوج نفسه عدة مرات. ويقع الاختلاف بين حمض نووي وآخر في الطريقة التي تترتب بها أزواج القواعد العضوية خلال سلسلة الحمض النووي. وقد اتضح ذلك من تحليل أكثر من أربعين نوعا من الأحماض النووية، فعلى الرغم من تساوي كمية A مع T، وC مع G في كل نوع من الأحماض، إلا أنه وجد أن نسب هذه القواعد تختلف من حمض لآخر، وأن هذا يعتمد اعتمادا كبيرا على الجنس الذي يفصل منه الحمض النووي.

وإحدى النتائج الهامة للتركيب السابق للحمض النووي DNA هو أنه يستطيع أن ينتج نسخة طبق الأصل من نفسه عند الضرورة، حيث أن الحلزون يتركب من سلسلتين تعتبر كل منهما مكملة للأخرى. وينبني على ذلك أن أيا من هاتين السلسلتين يمكن أن تعمل على هيئة قالب وتستطيع أن تكون صورة أخرى مكملة لها تشبه السلسلة الأخرى تمام الشبه.

ويمكن تصور ما يحدث على الوجه التالي: أولا تبتعد السلسلتان المكونتان للحلزون، كل منهما عن الأخرى وقد تنفصلان عن بعضهما البعض تماما. ثانيا تقوم كل من هاتين السلسلتين بتركيب سلسلة أخرى مكملة لها، وذلك بالتقاط بعض الوحدات النووية المناسبة لها من سوائل الخلية متبعة في ذلك قاعدة الازدواج التي سبق ذكرها بالنسبة للقواعد العضوية. والمقصود بالوحدات النووية هنا هي تلك المجموعة الثلاثية التي تتكون من جزيء من السكر ومجموعة الفوسفات مرتبطة بالقاعدة العضوية. ويبدو أن مثل هذه الوحدات توجد بوفرة في الخلية الحية. وهكذا تقوم كل من السلسلتين بتكوين نسخة تامة الشبه من النصف الأصلي للحلزون الذي انفصلت عنه فيتكون لدينا في نهاية الأمر حلزونان جديدان بدلا من الحلزون الأصلي، ويكون فيهما ترتيب القواعد العضوية هو نفس الترتيب في الحلزون الأم.



ويتضح مما سبق أن عملية الانفصال وإعادة البناء المذكورة لا تتم اعتباطا ولكنها تتم دائما طبقا لقاعدة ثابتة تؤدي دائما إلى الاحتفاظ بنفس الترتيب النمطي أو نفس التنسيق الذي تترتب به القواعد العضوية في السلسلة، مما يؤدي إلى الاحتفاظ بالصفات الوراثية للكروموسوم كما هي دون تغيير. وتفسر هذه الطريقة الأسلوب الذي تتبعه الخلية عند انقسامها والسبب في تشابه جميع الكروموسومات في جميع خلايا الجنس الواحد.

ويعتبر إي عامل وراثي مهيئا للقيام بمهمته إذا استطاع أن يكون صورة تامة الشبه أو نسخة تامة من نفسه عند الضرورة وقد رأينا كيف استطاع الحمض النووي DNA أن يفعل ذلك، ويبقى علينا بعد ذلك أن نعرف كيف

يستطيع هذا الحمض النووي أن يتحكم في الصفات الوراثية للنوع، وكيف يتحكم في نمو الخلية الحية.

ولم تعرف بعد على وجه التحديد الطريقة التي يتبعها الحمض النووي للتحكم في بناء الجزيئات العضوية الهامة التي تستخدمها الخلية الحية في نموها، ولكن المتعارف عليه الآن أن الحمض النووي DNA يحمل في تركيبه أعدادا هائلة من التعليمات الخاصة ببناء البروتينات المختلفة التي تحتاجها الخلية في عملها والتي تبلغ المئات. وأغلب هذه البروتينات تعمل على هيئة أنزيمات أي عوامل حفز بيولوجية تساعد على توجيه مئات من التفاعلات وتساهم بذلك في تشكيل كثير من المركبات الحيوية الأخرى.

ويحمل الحمض النووي DNA تعليمات وراثية متعددة قد تصل إلى عشرات الآلاف. وهذه التعليمات تتحكم في جميع صفات الكائن الحي فهي التي تجعل العيون سوداء أو زرقاء وهي التي تلون ريش الطيور بألوانها الزاهية وتعطي للأزهار رائحتها الذكية. وتتجمع هذه الرسائل في الحمض النووي على هيئة جينات «genes» وكل «جين» منها عبارة عن قطاع من قطاعات الحمض النووي يتركب من مجموعة متجانسة من التعليمات المكتوبة بلغة الحمض النووي، وقد تحتوي الفيروسات وهي أصغر الموجودات التي تحتوي على مقومات تناسخها على بضع مئات من الرسائل أو الجينات بينما تحتوي خلية البكتريا على حوالي 1000 من هذه الجينات، كما أن الخلية البشرية قد تحتوي على ما يقرب من مليون من هذه الجينات أو أكثر.

ولا تتصل جينات الإنسان في خيط واحد ولكنها تتوزع على 46 جزيئا من جزيئات الحمض النووي التي تكون كروموسومات الخلية البشرية. ولو أننا جمعنا، نظريا، جزيئات الحمض النووي DNA في خيط واحد لبلغ طوله ما يقرب من المتر، وينتج هذا المتر الذي يحتوي على جميع التعليمات اللازمة لتكوين الكائن الحي، في اللحظة التي يلتحم فيها الحيوان المنوي مع البويضة عند التلقيح ويجب عليه أن يتناسخ بدقة هائلة بلايين المرات أثناء نمو الجنين.

وتعتمد معاني الرسائل الوراثية وما تحمله من معلومات على الطريقة التي تترتب بها القواعد العضوية خلال سلسلة الحمض النووي. ومن المعتقد

أن كلا من الادينين A والجوانين G والسايتوزين C والثايمين T تقوم مقام النقطة والشرطة في شفرة «مورس» المستخدمة في التلغراف. وعلى هذا فإنه يمكن للحمض النووي، باستخدام التباديل والتوافيق في ترتيب هذه القواعد، أن يركب منها كلمات وجملا تحمل ملايين المعاني حتى أنه يقال أن الحمض النووي الموجود في أي خلية من خلايا الجسم البشري يحتوي على ما يكفي من الكلمات لكتابة ألف كتاب من الكتب الكبيرة ذات ستمائة صفحة.

وقد اقترح بعض العلماء أن أحرف هذه الشفرة الحيوية يمكن قراءتها على هيئة كلمات تتكون كل منها من ثلاثة أحرف، وكل حرف من هذه الحروف تمثله إحدى القواعد العضوية المذكورة. ويمكن تصور كيفية بناء جزيئات البروتين العملاقة من حوالي عشرين حمضا أمينيا عن طريق هذه الكلمات الثلاثية الأحرف بأن يأخذ كل حمض أميني مكانه في سلسلة البروتين عن طريق ترتيب معين للأحرف (القواعد العضوية) في الحمض النووي DNA الموجود بالكائن الحي والذي سبق له أن ورثه عن أجداده السابقين.

وإذا تصورنا جزيئا نمطيا من أحد البروتينات يتركب من حوالي 200 وحدة من وحدات الأحماض الأمينية التي تترتب ترتيبا خاصا داخل الجزيء أو على طول السلسلة الببتيدية فإن هذا يحتاج إلى شفرة أو إلى «جين» يحتوي على 200 كلمة من هذه الكلمات على الأقل والتي يمثلها تتابع من حوالي 600 قاعدة عضوية في جزيء الحمض النووي.

والآن ما هو الداعي الذي يستوجب أن تكون الشفرة ذات كلمات تتكون من ثلاثة أحرف على الأقل؟ ويمكننا أن نجيب عن هذا التساؤل إذا نظرنا للجدول التالي فسيتضح لنا على الفور أن الشفرة الأحادية أي التي تتكون من حرف واحد (قاعدة عضوية واحدة) لا تعطي إلا أربعة احتمالات، أو أربع كلمات فقط، في حين أن الشفرة الثنائية، أي الشفرة التي تتكون من حرفين (قاعدتين عضويتين)، يمكن أن يتغير فيها ترتيب الحروف (أو القواعد) بحيث تعطى احتمالات أكبر أو كلمات أكثر من الحالة السابقة تبلغ حوالي ست عشرة كلمة ($4 \times 4 = 16$).

وبتطبيق القاعدة السابقة نجد أن الشفرة التي تتكون من ثلاثة أحرف

(ثلاث قواعد عضوية) يمكن أن تتعدد فيها احتمالات الترتيب بحيث تعطي 64 احتمالا أو 64 كلمة كل منها تتكون من ثلاثة حروف.

الشفرة الأحادية المقطع	الشفرة الثنائية المقطع				الشفرة الثلاثية المقطع
A	AT	AC	AG	AA	
G	GT	GC	GG	GA	
C	CT	CC	CG	CA	
T	TT	TC	TG	TA	
4 كلمة	16 كلمة				64 كلمة

وحيث أن الأحماض الأمينية التي تدخل في تركيب البروتينات يقدر عددها بحوالي عشرين حمضا أمينيا، فإن الشفرة الثنائية المقطع التي تتكون من حرفين فقط، لا تصلح لذلك حيث أنها لا تعطي إلا ست عشرة كلمة على الأكثر. وإذا تصورنا أن كل حمض أميني يحتاج إلى كلمة خاصة به، فإن هذه الشفرة لا تصلح إلا لربط ستة عشر حمضا أمينيا فقط. وينبني على ذلك أنه لربط جميع الأحماض الأمينية العشرين بكلمات خاصة، يلزم استخدام شفرة ثلاثية الأحرف أو ثلاثية المقطع على الأقل، حيث أنها تعطي عددا كبيرا من الاحتمالات يبلغ 64 كلمة أو احتمالا.

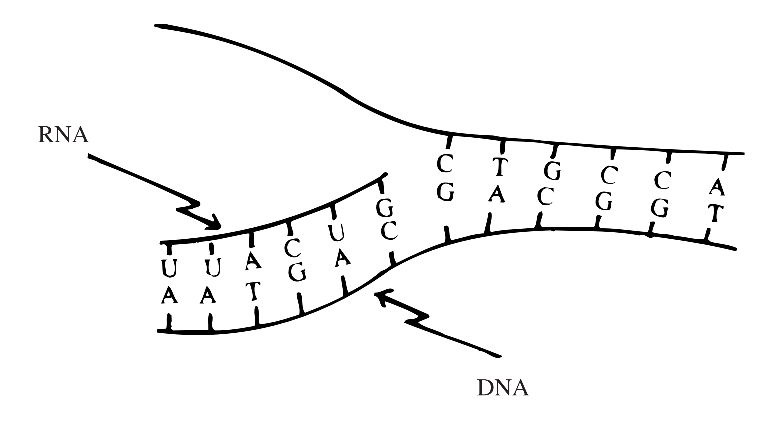
ويتضح من ذلك أنه لا بد من استخدام تركيب من ثلاث قواعد عضوية على الأقل حتى يمكن بناء بروتين يتكون من عشرين حمضا أمينيا. ونظرا لأهمية الحمض النووي، فإن الخلية تقوم بحمايته جيدا، ولهذا فهو يتحصن في النواة، بعيدا عن السيتوبلازم، فهناك يكون أقل تعرضا للفعل الكيميائي ويبقى بعيدا عن مئات من الجزيئات الكيميائية الأخرى. ولكن كيف تنتقل المعلومات أو الرسائل التي يحملها الحمض النووي DNA إلى بقية الخلية الحية حيث تصنع مختلف البروتينات والأنزيمات وغيرها من المواد الهامة التي تؤدي إلى الاحتفاظ بالجنس واستمرار الحياة.

إن الحمض النووي DNA لا يقوم بتشكيل جزيئات البروتين بنفسه

مباشرة، ولكنه يفعل ذلك عن طريق وسيط آخر يعرف باسم حمض رايبوز النووي RNA، الذي يقوم بقراءة الشفرة المكتوبة على جزئ الحمض النووي DNA، ثم يقوم بنقل هذه المعلومات وينطلق بها في الخلية لتصنيع البروتين المطلوب. ولا شك أن هذا الأسلوب الذكي في العمل يساعد على الاحتفاظ بالحمض النووي DNA سليما على الدوام، بعيدا عن عوامل البناء والهدم التي تسود الخلية الحية. ويعتبر جزئ الحمض النووي RNA أحد أدوات التشغيل الهامة في الخلية، وكل حمض نووي من نوع RNA يحمل تعليمات خاصة طبعت عليه من إحدى جينات الحمض النووي الأصلي DNA، وتحمل هذه التعليمات بين طياتها أوامر بتصنيع بروتين خاص. ويعرف هذا النوع من حمض RNA النووي باسم «المراسل»، وهو يشبه الحمض النووي الأصلي شبها كبيرا فهو يتكون كذلك من سلسلة تتتابع فيها وحدات السكر والفوسفات وتتصل بها فروع جانبية من القواعد العضوية، إلا أنه في هذه الحالة يختلف نوع السكر قليلا فهو سكر الرايبوز، وتحل قاعدة جديدة تعرف «باليوراسيلU< محل القاعدة العضوية «الثايمين» T.

وعلى هذا الأساس فان تكوين الحمض النووي RNA يتم بنفس الطريقة التي شرحناها في حالة تناسخ الحمض النووي DNA، إلا أن اليوراسيل U في هذه الحالة يعتبر مكملا للأدينين A، ويحل محل الثايمين T.

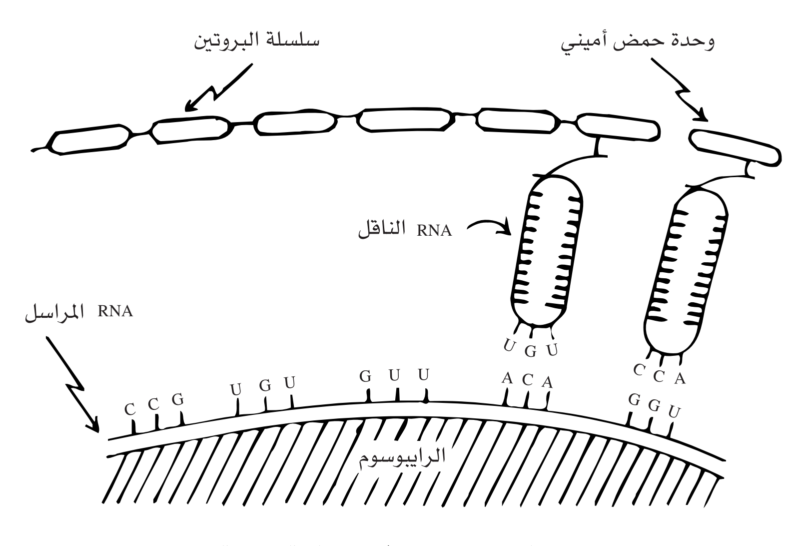
وهناك نوع آخر من الأحماض النووية RNA، وهو يسمى «الناقل». والعمل الحقيقي لهذا الحمض RNA الناقل، هو حمل الحمض الاميني ونقله إلى



الريبوسومات وترجمة الرسالة التي يحملها RNA المراسل إلى لغة الأحماض الأمينية، أي ترجمة لغة DNA إلى لغة البروتينات. وتتكون مفردات لغة الحمض النووي DNA من تتابع خاص للقواعد العضوية في جزيئه، بينما تتكون مفردات لغة البروتينات من تتابع معين لوحدات الأحماض الأمينية في جزئ البروتين.

وتتم عملية تصنيع البروتين في الخلية على الوجه التالي:

يقوم الحمض النووي الأصلي DNA بنسخ رسالته على حمل RNA النووي المراسل، وينطلق هذا الحمض المراسل خارج النواة حاملا رسالة إلى إحدى



تخليق البروتين في الخلية الحية

الرايبوسومات بالسيتوبلازم ويلتصق بها، وهناك يلتقي مع قطع صغيرة من الحمض النووي RNA الناقل، ويبدأ هذا الأخير يتحسس RNA المراسل، ويقرأ رسالته، ثم يترجم هذه الرسالة إلى لغة البروتينات، فيقوم بانتقاء وحدات الأحماض الأمينية من المحاليل المحيطة به طبقا لما تمليه الرسالة الأصلية، ويصف هذه الوحدات في سلسلة البروتين كما هو مطلوب في رسالة RNA المراسل، والنابعة أصلا من جزئ الحمض النووي الأصلي DNA. لا شك أن هذا شيء مبهر، ولكن هكذا تجري الأمور في الخلية

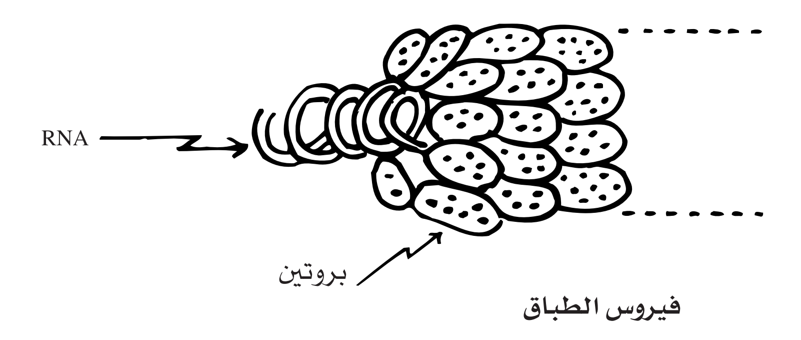
الحية في دقة ونظام يفوقان الوصف.

ومن المعتقد أن هناك بعض الكلمات القليلة في شفرة الحمض النووي DNA الممثلة في تتابع معين من القواعد العضوية، لا معنى لها على الإطلاق، أي أنها لا تستطيع أن ترتبط بوحدات الأحماض الأمينية، ولا تؤدي إلى ترتيبها في سلسلة البروتين. ويعتقد بعض العلماء أن هذه الكلمات التي لا معنى لها في لغة الحمض النووي DNA ذات أهمية خاصة، فهي قد تعني بدء أحد الجينات أو نهايته، وبذلك تمثل فاصلا بين مختلف الجينات في جزئ DNA أو فاصلا بين الرسائل الوراثية المختلفة.

وقد تبين أن هذه الشفرة التي نحن بصددها لها صفة العموم، فهي تستخدم في جميع أنواع الكائنات الحية التي تعيش على سطح الأرض. ومما يعزز هذه النظرية أن بعض أنواع الحمض النووي RNA المختلفة في المعامل استطاعت تصنيع البروتين في مستخلصات الخلايا البشرية، وكذلك في مستخلصات خلايا البكتريا في بعض التجارب المعملية، مما يدل على أنه لا توجد هناك فروق جوهرية في التخطيط العام بين مختلف الكائنات الحية.

وحتى الفيروسات التي تعتبر من أصغر الموجودات التي تحتوي على مكونات الحياة، لا تختلف هي الأخرى كثيرا من هذه الناحية. فالفيروس عبارة عن جزئ من الحمض النووي يحيط به غلاف من البروتين، وقد يحتوي بعض هذه الفيروسات على RNA فقط بينما يحتوي البعض الآخر على DNA. ومن أمثلة هذه الفيروسات، فيروس الطباقة المعروف باسم «Tobacco mosaic virus» وهو أحد الفيروسات التي درست بعناية كبيرة وتبين انه يتكون من حلزون من حمض الرايبوز النووي RNA يحيط به غلاف من جزيئات البروتين.

وحتى عام 1892، لم تكن كلمة فيروس، وهي كلمة من أصل لاتيني وتعني «سم»، تستعمل إلا لوصف بعض مسببات الأمراض الغامضة التي لم تكن من أصل بكتيري أو جرثومي. وقد تبين فيما بعد أن بعض هذه الأمراض ينشأ عن جسيمات صغيرة جدا لا يمكن ترشيحها بمرشحات البكتريا، ولا تنمو ولا تتكاثر إلا إذا لامست الخلايا الحية، واستمر إطلاق اسم الفيروسات على هذه الأجسام.



فيروس الطباق

والفيروسات متعددة الأنواع، فمنها ما يصيب الإنسان بالأمراض، ومنها ما يصيب النباتات، مثل ذلك الفيروس الذي أصاب أشجار الكاكاو في ساحل العاج والذي أدى في عام 1939 إلى إتلاف ما يزيد على مليون شجرة من هذه الأشجار، ومنها ما يصيب الحيوانات مثل مرض نيوكاسل الذي ظهر في إنجلترا منذ زمن وأدى إلى هلاك عشرات الألوف من الدجاج. وهناك بعض الأنواع الأخرى من الفيروسات التي لا تصيبنا بالمرض، ولا تتسبب في المتاعب على الإطلاق.

وتقع الفيروسات بأنواعها المختلفة على الحد الفاصل بين المادة الحية، وغير الحية، فهي إذا عزلت بمفردها، تصبح عديمة النشاط، وتبدو مشابهة لأي مادة من المواد الكيميائية المعتادة، ولكنها تنشط في الحال، ويدب فيها دبيب الحياة إذا دخلت إحدى الخلايا الحية. ويصلح الفيروس المسبب لنزلات البرد المعتادة لتوضيح هذه الحقيقة، فهذا الفيروس يمكن حفظه وحده في زجاجات المعامل لمدة قد تصل إلى عام أو أكثر دون أن ينحل أو يتكاثر، مثله في ذلك مثل بلورات السكر أو الملح. ولكن هذا الفيروس ينشط في الحال عند ملامسته للخلايا الحية، ويبدأ في التكاثر بسرعة رهيبة مسببا الالتهابات وسيولة الأنف وتدميع العيون إلى غير ذلك من الأعراض.

ويرجع السبب في نمو الفيروس وتكاثره في الخلية الحية فقط، إلى أن الخلية الحية هي المكان الوحيد الذي يستطيع الفيروس الحصول فيه على الوحدات النووية اللازمة لصنع صورة مكملة لنفسه. وعندما يصيب الفيروس الخلية الحية، فإن هذه الخلية تقرأ الرسالة التي يحملها، وهي تحمل تعليمات للخلية بأن تقوم بصنع مزيد من هذا الفيروس من وحداتها النووية

الموجودة بها مما يؤدي في نهايه الأمر إلى استهلاك المكونات الحيوية للخلية وإتلافها ثم موتها.

ويتضح مما سبق أن الأجساد الحية تتكون طبقا للمعلومات والتعليمات والرسائل المسجلة على جزئ الحمض النووي DNA الذي يقبع في نواة الخلية، وهو الذي يصدر الأوامر التي تجعل الكائن الحي شجرة أو زهرة أو كائنا ما كان، وهو الذي يجعلنا نختلف عن كل ما حولنا من موجودات. ولا شك أن حدوث بعض التغيرات الطفيفة في تركيب هذا الحمض النووي قد يتسبب في حدوث بعض الأضرار في جسد الكائن الحي، وقد يؤدي إلى اختلاف مسار الأمور في جسده أو يؤدي إلى الوفاة، وذلك لأن أي تغيير في محتوى الرسالة التي يحملها هذا الحمض النووي يعني النقص في تكوين أحد البروتينات أو أحد الأنزيمات، وبذلك يتعطل عمل الخلية الحية في قطاع ما.

وقد تمكن بعض العلماء من تحضير بعض الأحماض النووية في المعامل، كما نجح البعض الآخر في تحضير«جين» كامل، أي رسالة متكاملة، كما نجحوا في إجراء عملية أخرى على درجة قصوى من الأهمية، تعرف باسم «اقتطاع الجينات» «Gene Splicing» ويتم في هذه العملية فصل «جين» محدد من سلسلة الحمض النووي DNA، ثم يدخل هذا الجين في سلسلة حمض نووي DNA آخر في نوع ما من البكتريا. وقد تمكن العلماء بهذا الأسلوب من تكوين نوع جديد من البكتريا، تقوم بصنع الأنسولين الذي يحتاجه مرضى السكر، ويتوقعون أن يتمكنوا في القريب العاجل من علاج كثير من الأمراض الوراثية مثل قصر القامة والأنيميا وغيرها، ومن استنباط أنواع جديدة من النباتات تستطيع امتصاص النتروجين من الجو مباشرة بدلا من احتياجها للمخصبات المرتفعة التكاليف.

ولا شك أن مثل هذه التجارب تحمل بين طياتها بعض الأخطار، فقد تؤدي بعض البحوث غير المحكومة إلى ظهور بعض الأمراض الجديدة التي قد تعم على هيئة وباء يبيد البشرية بأجمعها، أو تؤدي !إلى إحداث بعض التغييرات في الإنسان نفسه، وقد يكون لها أثر خطير على مستقبل الجنس البشري بأكمله. وقد اختار العلماء البكتريا لإجراء تجاربهم في مجال اقتطاع الجينات، وذلك لأن البكتريا سريعة التكاثر بشكل هائل، فتستطيع

خلية واحدة من بكتريا E. Coli المسالمة، والتي توجد في قولون الإنسان، أن تتكاثر في خلال 24 ساعة لتعطي آلاف الملايين من النسخ المشابهة لنفسها.

وإذا كانت هذه البكتريا قد أدخل في حمضها النووي «جين» جديد، فإن هذا الجين الجديد سيتم إنتاجه في هذه الخلايا المتكاثرة بنفس المعدل، آلاف الملايين من المرات في يوم واحد، ولهذا فكر العلماء في استخدام البكتريا كمصانع لإنتاج هذه الجينات. وقد استخدم هذا الأسلوب في صنع الأنسولين الذي يحتاجه مرضى السكر، والذي لا تستطيع أجسادهم إنتاجه، ربما بسبب تعطل الجين المسئول عن تكوين هذا الهرمون. ويستخرج هذا الهرمون عادة من البقر أو الخنازير، ولكنه لا يكون مماثلا في تركيبه تماما الأنسولين بنكرياس الإنسان، ولهذا نجد أن أجساد بعض المرضى بالسكر لا تتقبل هذا الأنسولين بشكل مرض.

ويختلف الحال كثيرا في حالة الأنسولين المصنع بواسطة البكتيريا، فهو مماثل تماما من الناحية الكيميائية للأنسولين الذي يفرزه جسد الإنسان، وذلك لأن هذه البكتريا قد حملت بنفس الرسالة «الجين» التي يحملها حمض DNA النووي في الإنسان. وقد تم الاعتراف بهذا الهرمون التخليقي في الولايات المتحدة عام 1982، وكان بذلك أول منتج ينتج بأسلوب اقتطاع الجينات. وقد استخدمت هذه الطريقة كذلك في معالجة قصر القامة في الإنسان وينتج قصر القامة عادة نتيجة للنقص في هرمون النمو الذي تفرزه الغدة الصنوبرية كما هو ملاحظ في حالة الأقزام.

وقد كانت الطريقة المتبعة في علاج هذا النقص في هرمون النمو، إعطاء الطفل القليل النمو بعضا من هذا الهرمون المستخلص من الغدة الصنوبرية لبعض الموتى، ولكن الأمر كان يستدعي العلاج لمدة عام كامل على الهرمون المستخلص من حوالي خمسين شخصا، وهو أمر عسير ومرتفع التكاليف. ولا شك أن نقل الجين المنتج لهذا الهرمون إلى البكتريا، سيساعد كثيرا على زيادة إنتاج هذا الهرمون ويجعله في متناول الجميع.

كر العلماء في إنتاج الانترفيرون «Interferon» بهذه الطريقة. والانترفيرون بروتين يجري تصنيعه في الخلايا التي تصاب بالفيروسات. ويعتقد العلماء أن الانترفيرون يستطيع مقاومة تكاثر الفيروسات المسببة للسرطان داخل الخلايا، ولكنهم لم يتمكنوا من إثبات ذلك بشكل قاطع نظرا لضآلة كمية

الانترفيرون التي يمكن الحصول عليها باستخلاص خلايا الدم، ولارتفاع تكاليفه بشكل باهظ.

ويسود الاعتقاد الآن، بأن كثيرا من الأمراض تنتج عن غياب أحد الجينات في سلسلة الحمض النووي DNA الموجودة بنواة الخلية، أو قد تنتج عن وجود خلل ما في أحد الجينات لأسباب وراثية. وقد تفلح طريقة اقتطاع الجينات مستقبلا في علاج مثل هذه الأمراض والتخلص منها . ولن يقتصر استخدام هذه الطريقة عند نجاحها على علاج الأمراض، بل قد تفيد مستقبلا في زيادة الإنتاج النباتي والحيواني وتساعد بذلك على حل مشكلة الغذاء في العالم. وقد استخدمت البكتريا فعلا في إنتاج الحمض الأميني المعروف باسم «برولين» بطريقة اقتطاع الجينات، ويستخدم هذا البروتين في بناء البروتينات التركيبية في أجساد الكائنات الحية، وبذلك يمكن استخدامه غذاء للماشية.

كذلك يمكن باقتطاع بعض الجينات المرغوب فيها من سلسلة حمض DNA النووي في بعض النباتات، ونقلها إلى سلسلة الحمض النووي في نباتات أخرى، تحسين النوع وإنتاج سلالات جديدة أفضل نوعا وكما، مما سينعكس أثره على تحسين الاقتصاد العالمي. كذلك يفكر البعض في تحسين بعض الجينات أو زيادتها خاصة تلك التي قد تساعد على زيادة كمية الكحول الناتج عن تخمير الذرة، وعندئذ يمكن استخدام هذا الكحول وقودا للسيارات ومختلف آلات الاحتراق الداخلي مما سيساعد كثيرا على خفض استهلاك البترول ومشتقاته.

ولا حدود للفكر في هذا المجال، فيرى البعض أنه من الممكن مستقبلا إنتاج أنواع من البكتريا تستطيع استخلاص المعادن النادرة والنفيسة من التربة دون عناء، وانتاج أنواع من النباتات لها القدرة على تكوين مخصباتها الخاصة، ويمكن بذلك زراعتها في أي نوع من التربة. ورغم بعض الفوائد المتوقعة من نقل بعض الصفات الوراثية عن طريق اقتطاع الجينات، وإعادة تشكيل سلاسل الحمض النووي DNA، فإن هناك من يتخوفون من بعض نتائجها الضارة، خاصة عندما نأخذ في الاعتبار تلك الأفكار التي ترى أنه من الممكن إحداث تغييرات معينة في الإنسان نفسه، فقد يكون لمثل هذه التجارب أثر خطير على مستقبل الجنس البشري بأجمعه.

وقد استطاع بعض العلماء أن ينقلوا ذاكرة أحد فئران التجارب المدربة إلى فأر آخر غير مدرب، وذلك بنقل بعض محتويات السائل النخاعي من الفأر المدرب إلى نخاع الفأر الثاني غير المدرب. والشيء المدهش أن الفأر الثاني اكتسب خبرة الفأر الأول في الحال بمجرد انتهاء عملية حقن النخاع. وقد استنتج من قاموا بهذه التجربة إن حمض RNA النووي، الذي يوجد في نخاع الفأر الأول، هو الذي يحمل الشفرة المتعلقة بالخبرة والمران، وأن مجرد نقله إلى نخاع الفأر الثاني، أكسبه هذه الخبرة في الحال.

ولهذه التجربة أبعاد رهيبة يمكن توقعها، فهي تعني انه يمكن نقل الخبرة من فرد لآخر دون مجهود يذكر، وبذلك نستطيع أن نعلم القلة، ثم ننقل ما في رؤوسهم إلى الكثرة. كذلك تعنى أننا يمكن أن نتحكم في نوع الخبرة التي نعطيها للآخرين، وقد تكون هذه هي الوسيلة للسيطرة على الغالبية من البشر بعد أن نحقنهم بالقدر الذي نريده من الخبرة والمعلومات. ولا تقتصر خطورة هذه التجارب عند هذا الجانب الإرادي فقط، فهناك كذلك الجانب اللاإرادي منها، وهو الذي ينتج عن الأخطاء غير المقصودة التي قد تؤدي إلى تكوين بكتريا ضارية أو نوع من الفيروس لا يمكن مقاومته فيقضي على الجنس البشري بأكمله، ولهذا فرضت كثير من الأمم بعض القيود على هذه البحوث، ووضعت بعض القواعد والمقاييس التي يمكن الاسترشاد بها عند إجراء هذه التجارب.

ولنا الآن أن نتساءل، هل استطاع الإنسان حقا أن يتعلم لغة جسده؟ وهل سيعود عليه ذلك العلم بالنفع أم يفتح عليه بابا جديدا من المتاعب والصعوبات؟

14 منظمات النمو

تعتبر البويضة المخصبة، في أغلب الكائنات الحية، معبرا بين جيل وآخر من نفس النوع. وتبدأ حياة الكائن الحي بخلية واحدة في أغلب الأحوال، ثم تبدأ عملية النمو بعد ذلك بأسلوب واحد لا يتغير، فتبدأ خلية البويضة المخصبة في الانقسام مرات ومرات حتى يتكون الكائن الحي الكامل في نهاية الأمر. وتنتقل الرسائل الوراثية التي تحملها الكروموسومات من خلية إلى أخرى أثناء عملية الانقسام بدقة بالغة، وذلك عن طريق تناسخ الأحماض النووية DNA بالطريقة التي سبق ذكرها، حتى يتم في نهاية الأمر تخليق مختلف الأنسجة والأعضاء التي يتكون منها الكائن الجديد.

ومما يثيرالعجب حقا، أن كثيرا من الخلايا الحية لا تستمر في عملية الانقسام على الدوام، ولكنها تتوقف عن الانقسام بعد فترة ما، على حين أن بعض الخلايا الحية الأخرى تستمر في عملية الانقسام بصفة دائمة دون كلل أو ملل. ويظهر هذا الفارق بوضوح في خلايا الجنين دائبة الانقسام بالمقارنة ببقية خلايا الكائن الحي التي تتوقف عن الانقسام عندما يصبح الكائن متكامل البناء.

وتتسم هذه العملية بالغموض الشديد، فلا يبدو

هناك سبب واضح يبرر مثل ذلك الخلاف الغريب في نشاط هذه الأنواع من الخلايا. وقد دفع هذا الغموض بعض العلماء للبحث عن ذلك العامل الذي يدفع إحدى الخلايا للانقسام المتتابع، وقاموا بإجراء بعض التجارب على الخلايا النباتية، باعتبارها أكثر وفرة وأيسر في تناولها من الخلايا الحيوانية.

وقد أوضحت هذه التجارب أن عملية الانقسام الخلوي المتتابع لا علاقة لها بنوع الخلية الحية أو بموقعها من الكائن الحي، كما بينت هذه الدراسات أن جميع الخلايا الحية تتشابه في قدرتها على الانقسام المتتابع إذا توفرت لها بعض الظروف المناسبة في البيئة المحيطة بها. وقد أمكن إثبات هذا الفرض بصورة عملية عندما تم تحويل بعض الخلايا النباتية البالغة، والتي توقفت عن الانقسام منذ زمن، إلى خلايا نشيطة نامية دائبة الانقسام، والشيء المدهش حقا، أن بعض هذه الخلايا التي أعيد إليها شبابها، إن جاز لنا أن نقول ذلك، قد أمكن تحويلها من خلية مفردة إلى نبات كامل من نفس النوع.

وقد أثبتت هذه التجارب، أنه ليس هناك في الحقيقة شيء خاص في البويضة المخصبة، بل ربما كانت البويضة المخصبة هي أقل الخلايا تخصصا في الكائن الحي، كما أثبتت بصورة عملية أن كل خلية حية تحمل في نواتها نفس التعليمات والصفات الوراثية الأصلية التي تحملها نواة خلية الجنين في هذا النوع. وقد أجريت بعض هذه التجارب على شرائح رقيقة من جذر نبات الجزر، وهي تتكون من خلايا لا قدرة لها على الانقسام أو النمو تحت الظروف المعتادة التي يعيش فيها النبات.

واستخدم في هذه التجارب أوساط غذائية مختلفة، واتضح أن أفضل هذه الأوساط هو لبن جوز الهند الذي يعيش عليه جنين نبات جوز الهند، وقد دفع هذا الوسط الجزر إلى النمو بشكل هائل، حتى أن وزن هذه القطاعات أو الشرائح التي لا تنمو عادة، قد تضاعف ثمانين مرة خلال عشرين يوما فقط. وتدل هذه التجربة الفريدة، على أن لبن جوز الهند قد أطلق في هذه الخلايا ميكانيكية خاصة كانت ساكنة ونائمة تحت الظروف العادية المحيطة بالنبات. وبدأ لأول وهلة أن لبن جوز الهند هو مفتاح عملية التحول من خلايا ساكنة إلى خلايا نامية، وأن أي نوع من الخلايا يوضع في

هذا الوسط تحت الظروف المناسبة، يستطيع أن ينمو ويتكاثر في الحال.

وقد اتضح فيما بعد أن الأمر ليس كذلك، فلم يصلح لبن جوز الهند مثلا لدفع خلايا درنات البطاطس إلى النمو، بل اتضح كذلك أن هناك أنواعا من الخلاصات النباتية لها أثر عكسي، وتستطيع إيقاف عملية النمو بصورة كاملة، مثل خلاصة خلايا البصل. ويعني كل ذلك أن نمو الكائن الحي لا يخضع فقط للظروف المعتادة مثل وفرة الغذاء أو توفر الماء، أو وجود الضوء أو الحرارة المناسبة، ولكنه يخضع قبل كل شيء للأثر المنشط أو المثبط لمجموعة معينة من الجزيئات الكيميائية.

وقد ساعدت مثل هذه التجارب كثيرا على فهم بعض حالات النمو الشاذة التي تحدث أحيانا في بعض النباتات، والتي تظهر على هيئة أورام متعددة الأشكال. وفسرت هذه الظواهر على أنها تمثل ارتفاعا مفاجئا في تركيز المواد المنشطة التي تؤثر على انقسام الخلايا في الأجزاء التي تصاب بهذه الأورام. وهناك بعض الشواهد التي تدل على صحة هذا الرأي، فبعض الخلاصات التي استخرجت من هذه الأورام، ساعدت بشكل ملحوظ على نمو قطاعات جذر نبات الجزر مما يشير إلى أن هذه الخلاصات تحتوي على بعض العوامل المنشطة لانقسام الخلايا. وقد أمكن في هذه التجارب تحويل بعض الخلايا النباتية المفردة لتعطي نباتا كاملا يتكون من جذر وساق وأوراق وثمار وبذور، وكأن هذه الخلايا هي خلية الجنين الأصلية.

وتعني عملية نمو الخلية العادية إلى نبات كامل أمرين على قدر كبير من الأهمية. الأول منهما أن كل خلية في الكائن الحي مهما كان موقعها، تحتوي على جميع المقومات اللازمة لتكوين كائن حي، أي أنها تحمل في كروموسوماتها نفس الحمض النووي DNA، الذي يحمل الصفات الوراثية التي توجد في البويضة المخصبة. والأمر الثاني-وهو أمر عجيب-أن الخلية العادية، لسبب من الأسباب لا يسمح لها باستخدام كل هذه الطاقات المختزنة فيها، وإنما يسمح لها فقط باستعمال عدد محدود من الرسائل التي يحملها الحمض النووي DNA، يتفق فقط مع الوظيفة الموكلة إليها.

ويدل ذلك على مدى النظام الفائق التي يسود جسد الكائن الحي، فكل خلية في جسده رغم احتوائها على ملايين التعليمات والمعلومات، لا تستعمل إلا القدر الكافي منها الذي يتناسب مع تخصصها، أي أن جزءا كبيرا جدا

من جينات الحمض النووي DNA يبقى معطلا في هذه الخلايا المتخصصة. ويعني هذا كذلك أن جميع خلايا الجسد تتشابه في الرسائل التي تحملها تماما، ولكنها تختلف فقط في نوع الرسائل التي تستخدمها كل منها، ولا أحد يعلم كيف يتم ذلك!

ويقع الخلاف الأساسي بين خلية الجسد العادية وبين البويضة المخصبة في طبيعة الوسط المحيط بكل منهما، فخلية الجنين يحيط بها وسط خاص يعرف باسم الاندوسبرم في النبات. وبتحليل لبن جوز الهند الذي يتغذى عليه جنين النبات، وجد أنه يحتوي على بعض المركبات الكيميائية التي تستطيع دفع الخلايا للانقسام المتتابع، وتم فصل بعض هذه المواد مثل «حمض إندول اسيتيك» أو «ثنائي فنيل يوريا» وأطلق عليها اسم «الهرمونات النباتية».

$CH_2 - COOH$

N

H

حمض اندول اسيتيك

O

$C_6H_5NH - C - NH - C_6H_5$

ثنائي فنيل يوريا

ولا يوجد هناك تشابه في التركيب بين هذين المركبين وأمثالهما، ولذلك يصعب التوصل إلى الطريقة التي تعمل بها هذه الجزيئات داخل الخلية الحية. ورغم أن هذه المركبات تدفع الخلية الحية إلى الانقسام المتتابع في بعض النباتات، إلا أنه لم يعرف بعد الأسلوب الذي تدفع به هذه المركبات الجينات إلى استعادة نشاطها. كذلك لا يعرف حتى الآن هل هي تعمل على الجينات مباشرة، أو تتسبب في حدوث سلسلة من التفاعلات تؤدي إلى هذا الغرض في نهاية الأمر.

وهناك نوع آخر من المركبات التي تساعد الهرمونات النباتية في عملها، ولكنها لا تتدخل في عملية الانقسام الخلوي، وتعرف هذه المركبات باسم «المركبات المعضدة» لأنها تزيد من نشاط الهرمونات النباتية عند وجودها معها.

وتتباين هذه المركبات كذلك في التركيب فمنها بعض الكحوليات العديدة

الهدروكسيل مثل «الصوربيتول» و «المانيتول»، ومنها ما يحتوي على حلقات سداسية مثل مركب «2: 4 - ثنائي كلوروفينوكسي حمض اسيتيك» الذي يعرف أيضا باسم «2: 4 - د» واستخدم كثيرا في إبادة الأعشاب الضارة.

ومن الملاحظ أن المواد المسببة للنمو تساعد بصفة عامة على دفع عملية تخليق البروتين في الخلية الحية، خاصة ذلك النوع من البروتين الذي لا يتعرض لعمليات التحليل أو الهدم، والذي يعرف عادة باسم البروتين التركيبي ويستخدم في بناء هيكل الكائن الحي.

ولا توجد هذه المواد المنشطة للانقسام إلا في أمكنة خاصة في النبات، وفي النسيج المحيط بالجنين والمعروف باسم الاندوسبرم، وهي التي تدفع البويضة المخصبة وخلايا الجنين إلى الانقسام المتتابع.

وبالرغم من عدم فهمنا التام للغة الكيميائية لعملية الانقسام المتتابع، وعدم معرفتنا بالميكانيكية التي تعمل بها منظمات النمو داخل الكائن الحي، فإن كثيرا من العلماء يعتقدون أن النتائج الأولية التي تم الحصول عليها في مجال الخلايا النباتية، تصلح كذلك للتطبيق بالنسبة للمملكة الحيوانية.

وقد أجريت فعلا بعض التجارب على الخلايا الحيوانية، وسميت هذه التجارب «بالتناسخ» «Cloning» وهي محاولة تكوين كائن كامل من خلية واحدة عن غير طريق التكاثر الجنسي المعتاد. وقد اتخذت التجارب التي أجريت على الخلايا الحيوانية مسارا مختلفا عن مثيلاتها التي أجريت على الخلايا النباتية، ففي حالة الخلايا الحيوانية اتسمت هذه التجارب بصعوبتها البالغة، فقد اقتضى الأمر استخدام خلية البويضة نفسها بعد نزع نواتها التي استبدلت بعد ذلك بنواة أخرى من أي خلية من خلايا الجسد المراد تناسخه.

والسبب في استخدام خلية البويضة أنها تحتوي على جميع العوامل اللازمة لدفع النواة إلى الانقسام، كما أن النواة الجديدة التي زرعت بها تحتوي الآن على عدد كامل من الكروموسومات بدلا من نصف العدد من الكروموسومات الموجودة أصلا بخلية البويضة والتي تمت إزالتها. فإذا نمت هذه الخلية، فستعطي كائنا كاملا يشبه الكائن الذي أخذت منه النواة الجديدة. وقد استخدم هذا الأسلوب عام 1952 في تناسخ الضفادع، فأخذت بويضة الضفدع، ثم دمرت نواتها بواسطة الإشعاع، وزرعت فيها نواة خلية

أخرى من خلايا الجسد، وقد نمت هذه الخلية بعد ذلك نموا طبيعيا وأعطت ضفدعة كاملة النمو.

وقد تبين فيما بعد، أن نجاح هذه التجارب يعتمد أساسا على زرع النوع الصحيح من النوى في خلية البويضة، فيجب أن تكون سرعة انقسام النواة الجديدة متناسبة مع السرعة الأصلية لانقسام خلية البويضة، وإلا نتج عن اختلاف سرعة الانقسام إنتاج كائنات مشوهة غير كاملة. وتزيد صعوبة هذه التجارب عند إجرائها على الثدييات، وذلك لأن بويضات الثدييات أصغر حجما وأسرع تلفا، ويحتاج زرع النواة بها، دون إتلافها، إلى الحرص الشديد وإجراء هذه العملية تحت الميكروسكوب. وقد أجريت بعض التجارب على خلايا الأرانب عام 1975، ولكن النتائج لم تكن مرضية ونمت بعض الأجنة نموا شاذا.

ويختلف الأمر كثيرا في الثدييات عن الضفادع، فالأخيرة تعيش في الماء وتنمو بويضاتها في الماء كذلك. أما الثدييات فلا بد أن تنمو البويضة في الرحم، ولهذا فقد تضمنت هذه التجارب إخراج البويضة من رحم الأم، واستبدال نواة جديدة من خلية جسد كائن آخر بنواتها، ثم إعادة هذه البويضة إلى رحم الأم الأصلية أو إلى رحم أم أخرى تعرف باسم الأم البديلة. ومن الملاحظ أن الحيوان الوليد في هذه الحالة الأخيرة لن تكون له صلة حقيقية بأمه البديلة، ولن تحتوي خلاياه على المواد الوراثية الموجودة بخلايا هذه الأم.

وقد اختلف وقع هذه التجارب على كثير من الناس، فيراها البعض رهيبة ومخيفة، ويراها البعض الأخر مثيرة للاندهاش، بينما يراها كثير من الناس شيئا خارجا عن نواميس الطبيعة، وخطأ فاحشا خاصة عند تطبيقها في محيط الإنسان.

ومن الطبيعي أن الكائن الناتج بهذا الأسلوب لن يكون نسخة مطابقة تماما للكائن الذي أخذت منه الخلية، فهناك احتمال حدوث خلل ما في العوامل الوراثية أثناء نقل النواة، كما أن أحدا لا يدري أثر هرمونات الأم البديلة وصحتها العامة وطريقة تغذيتها على الخلية النامية التي وضعت في رحمها. كذلك لا شك أن اختلاف البيئة وطريقة الحياة والأمراض التي يقابلها الكائن البالغ ستكون سببا في حدوث خلافات بين هذه الكائنات

الناتجة بهذا الأسلوب. وقد يصلح هذا الأسلوب في تناسخ الكائنات في إنتاج أنواع جديدة من النباتات أو سلالات جديدة من الماشية تساعد في حل أزمة الغذاء العالمية.

أما فيما يتعلق بالإنسان فهناك موقف أخلاقي لا يمكن التغاضي عنه. فمن الذي سيقرر الصفات الجيدة التي يجب إبرازها في النسخة الجديدة؟ وهل العبقرية العلمية أفضل من الميول الأدبية والفنية؟، وهل الشعر الذهبي أفضل من الشعر الأسود أو الأحمر؟، وهل سيكون تناسخ الإنسان بهذا الأسلوب، إن أمكن، في صالح الجنس البشري والإنسانية جمعاء؟

هذه هي التساؤلات التي تطوف بذهن العلماء الذين يعملون في هذا المجال والتي لم تجد لها إجابات شافية حتى الآن، وربما استعصى عليهم الإجابة عنها إلى الأبد.

15 كيف تنتقل الرسائل خلال الأعصاب؟

إذا تكون الكائن الحي من خلية واحدة، فإن من المتوقع أن تتم جميع الأعمال الحيوية لهذا الكائن داخل هذه الخلية الواحدة، فهي في حقيقة الأمر تمثل كيانه كله، وتنتقل المؤثرات المختلفة في هذه الخلية من جدرانها إلى وسطها عن طريق انتقال الجزيئات الكيميائية خلال السوائل الموجودة بها. أما إذا تكون الكائن الحي من مجموعة كبيرة من الخلايا، فإنه يصبح من الضروري أن تكون هناك وسيلة ما للاتصال بين هذه الخلايا وللتنسيق بين وظائفها المختلفة، ولا بد كذلك أن يكون هناك نظام خاص يسمح بنقل المؤثرات والتعليمات المختلفة بين أجزاء هذا الجسد المتعدد الخلايا والمترامي الأطراف.

ويوجد مثل هذا النظام في الكائنات الحية التي تتكون أجسادها من ملايين من الخلايا، فنجد أن هناك ترتيبا معينا يسمح بنقل المواد الكيميائية من الأجزاء الوسطى لهذه الكائنات إلى الأجزاء الخارجية منها، فتقوم بعض الغدد المتخصصة بإفراز مواد كيميائية معينة، تعرف بالهرمونات،

وتطلقها في الدم وهي تحمل مختلف الأوامر والتعليمات.

ولا يعد نظام العمل بالهرمونات نظاما مثاليا، بل هو يتصف بكثير من النقائص والعيوب، فهو أولا نظام بطيء الفعل إلى حد كبير، وذلك لأن الهرمون الذي تفرزه إحدى الغدد، لا بد أن ينطلق في مجرى الدم حتى يستطيع أن يصل إلى أهدافه، وعلى ذلك فإن السرعة التي يسري بها الدم في الجسم تعتبر محددة للسرعة التي يعمل بها الهرمون في الجسم، ولا يمكن طبعا أن تزيد سرعة عمل الهرمون على السرعة التي يتدفق بها الدم خلال جسد الكائن الحي.

وبما أن الدم يحتاج إلى ما يقرب من عشرين ثانية كي يدور في جميع أنحاء الجسم في الإنسان، وفي الرئتين، فان ذلك الهرمون، أو تلك الرسالة التي يحملها ذلك الهرمون لن تصل إلى هدفها إلا بعد انقضاء فترة من الزمن تصل إلى ما يقرب من عشر ثوان منذ اللحظة التي يفرز فيها من الغدد. ولا شك أن هذا عيب كبير في نظام العمل بالهرمونات، فعشر ثوان تعتبر فترة زمنية طويلة يمكن أن تحدث فيها أحداث تنتج عنها مخاطر بالنسبة لهذا الكائن الحي. وهناك عيب آخر من عيوب العمل بنظام الهرمونات، فان هذا النظام يكون عادة غير محدد الاتجاه، بمعنى أن الهرمون بعد إفرازه من الغدة في الدم، ينطلق مع تياره دون أن يقصد مكانا معينا، بل يذيع رسالته على جميع أجزاء الجسم التي يصل إليها الدم دون تمييز.

وقد تكون هذه الرسالة التي يحملها الهرمون موجهة إلى جزء خاص من الجسم، وهو قطعا سيستجيب لهذه الرسالة ويعمل بها بمجرد وصولها إليه، غير أن بقية أجزاء الجسم الأخرى التي تصلها نفس هذه الرسالة مع تيار الدم، لن تفهمها، ولن تعمل بها، بل ستقوم بتجاهلها كل التجاهل وكأنها لم تكن. ومن الطبيعي أن هذه العملية عملية غير اقتصادية في أساسها، فكل ذلك الهرمون الذي أطلق في الدم وصل إلى جميع أجزاء الجسم الأخرى التي لن تستجيب له، يعتبر إسرافا لا مبرر له.

وفي حقيقة الأمر، لا تمثل هذه النقائص أو العيوب، مثل البطء في الحركة، أو عدم التوجيه، إهدارا كبيرا للهرمون عندما تكون الرسالة التي يحملها هذا الهرمون خاصة بالنمو، أو متعلقة بالهضم، أو تتصل بعملية الاتزان الكيميائي في الجسم، فجميع هذه العمليات لها صفة العموم،

بمعنى أنه يشترك فيها بلايين من خلايا الجسد، ولا يعيبها في هذه الحالة عدم التوجيه، كما أنه لا يعيبها كذلك أنها بطيئة الحركة، فلن ينتج عن ذلك أي ضرر للجسم إن تأخرت عملية الهضم عشر ثوان أو أكثر، كما أن عدم التوجيه في هذه الحالات قد يكون مفيدا، طالما كانت هذه الرسالة التي يحملها الهرمون تتعلق بملايين من الخلايا الحية التي تنتشر في جميع أنحاء الجسم.

ويختلف الأمر كثيرا عندما يتعلق بموضوع تفاعل الكائن الحي مع البيئة المحيطة به، ففي هذه الحالة، يحتاج الأمر إلى سرعة الإحساس بالمؤثر الخارجي، والى سرعة الانفعال به، كما يحتاج الأمر كذلك إلى سرعة فائقة في الاستجابة لهذا المؤثر، والى دقة متناهية في رد الفعل، وذلك بتحريك عضلة بعينها أو بتشغيل جزء خاص من الجسم دون بقية الأجزاء.

ولا شك أن قدرة الكائنات الحية على البقاء، تتوفر دائما لمن يستطيع منها الاستجابة للأخطار المحيطة به بطريقة أدق وأسرع من غيره من الكائنات.

ومن الطبيعي أن نظام العمل بالهرمونات بطيء الحركة. وغير الموجه لا يستطيع تحقيق الاستجابة السريعة للمؤثرات الخارجية الذي تتطلبه بعض الظروف. ولا بد أن نتوقع أن الكائن الحي الذي يعمل بنظام الهرمونات، لن يستطيع الاستجابة لأي مؤثر خارجي في مدة تقل عن عشر ثوان، وهي-كما ذكرنا-المدة اللازمة لانتقال الهرمون في تيار الدم، وقد تكلفه هذه الاستجابة المتأخرة حياته كلها.

وسندل من كل ما سبق، أنه لزيادة مقدرة الكائن الحي على التفاعل مع بيئته، كان لا بد أن يوجد جهاز من نوع آخر، متخصص بدرجة كافية، ويستطيع أن يحقق الاستجابة السريعة للمؤثرات الخارجية بصورة أفضل. ويعرف هذا الجهاز المتخصص عادة باسم الجهاز العصبي، هو يتركب من وحدة رئيسية، كما في الإنسان، تعرف بالمخ، الذي يعتبر مركزا لهذا الجهاز، ومن مجموعة من الأعصاب التي تصل هذا المخ بجميع أجزاء الجسم. وتشبه هذه الأعصاب، أو الألياف العصبية، الأسلاك البرقية إلى حد كبير، وذلك من حيث قدرتها على نقل مختلف الرسائل بسرعة هائلة ولمسافات بعيدة، وبدقة متناهية، دون أن يكون هناك انتقال فعلي للمادة، كما أنها لا

تستهلك في ذلك إلا قدرا ضئيلا من الطاقة.

ويتم استقبال المؤثرات الخارجية الواردة من البيئة المحيطة بالجسم بواسطة خلايا متخصصة، وهي تبلغ درجة عالية من التخصص في بعض الأحيان، وتكون فيما بينها جزءا هاما من أعضاء الحس التي نعرفها، مثل الأنف والعين والأذن وغيرها. وعند استقبال هذه الخلايا للمؤثرات الخارجية، تقوم في الحال بإرسال نبضات عصبية تذهب إلى المركز الرئيسي للجهاز العصبي، وهو المخ، الذي يقوم هو الآخر في الحال بإرسال إشارات أخرى إلى العضلات أو الغدد التي تستجيب فورا لهذه الإشارات، كل بطريقته الخاصة.

و يجدر بنا أن نلاحظ أن خلايا الحس المذكورة تتصل بالمخ مباشرة عن طريق الأعصاب، إلا أنه لا يوجد هناك اتصال مباشر بين هذه الخلايا وبين العضلات أو الغدد المختلفة التي يفترض أن تستجيب لنبضاتها العصبية الواردة منها. ويعني هذا أن الجهاز العصبي الموجود بالجسم يشبه شبكة الاتصالات السلكية، أي التليفونات، فليس هناك اتصال مباشر بين المشتركين أو بين المتحدث والمتحدث إليه، ولكن الاتصال بينهما يتم عادة عن طريق الجهاز المركزي، ويقوم المخ في هذا الجهاز العصبي بدور السنترال، فهو الذي يتلقى المكالمة، أو الإحساس بالمؤثر الخارجي، وهو الذي يوصلها إلى المتحدث إليه، وهو في هذه الحالة العضلة أو الغدة المطلوبة.

وربما كان السبب في عدم وجود اتصال مباشر بين خلايا الحس وبين العضلات، هو أن هذا الوضع كان سيستدعي وجود أعداد هائلة من الألياف العصبية. وقد ينتج عن ذلك أن تتشابك بعض هذه الأعصاب معا وتتقاطع في كل اتجاه. كذلك قد يؤدي هذا الوضع إلى عدم التناسق بين مختلف الأحاسيس والمعلومات والأوامر الصادرة من مراكز الحس، والتي قد تتعدد وتبلغ المئات في الثانية الواحدة. ولا شك أن مثل هذه الأوضاع تسبب ارتباكا شديدا للكائن الحي.

ولا تسري هذه القاعدة على الكائنات الراقية فقط، مثل الحيوانات العليا، أو الإنسان، ولكنها تنطبق كذلك على غيرها من الأجناس، فنحن نجد أنه حتى في حالة الأجناس البدائية من الكائنات الحية، كان هناك دائما اتجاه لتركيز جميع النبضات العصبية في جهاز مركزي قبل إعادة

إرسال تلك النبضات إلى مراكز الحركة أو العضلات.

ولا شك أن هناك حكمة معينة من إرسال جميع النبضات العصبية من مراكز الحس إلى الجهاز المركزي وهو المخ، وذلك لأن المخ يقوم عادة بعملية تصنيف مستمرة لمئات من المعلومات الواردة إليه، وهو لا يستجيب عادة لجميع المعلومات التي تصل إليه بطريقة فردي، بل هو ينظر إلى مثل هذه المعلومات بطريقة جماعية. وبعد أن يقوم المخ باختيار القرار المناسب الذي يتضمن الإجابة على جزء كبير من هذه المعلومات، يرسل النبضات العصبية اللازمة، أو بمعنى آخر، يرسل الأوامر الملائمة إلى العضلات أو الغدد وغيرها طبقا للاتجاه العام للمؤثرات الخارجية، وطبقا للمعلومات الكلية الواردة إليه. ومن الطبيعي ألا يستطيع الجهاز المركزي، أو المخ، أن يستجيب إلى المؤثر الخارجي استجابة سليمة، إلا إذا حصل على أكبر قدر من المعلومات من أعضاء الحس الخارجية، وكانت هذه الأعضاء سليمة تماما.

وتمثل كل من العين والأذن قمة التخصص في الحيوانات العليا، وفي الإنسان، فكل منهما قد أعدت إعدادا جيدا لاستقبال مؤثر معين، فالعين تستقبل موجات الضوء، في حين إن الأذن قد أعدت لاستقبال موجات الصوت، و بذلك يمكن لهما أن يجمعا معا قدرا كافيا من المعلومات عن العالم الخارجي.

ولقد سبق لنا أن افترضنا في أول الأمر، أن الأعصاب تمتد في الجسد مثل أسلاك البرق، فهل تنتقل النبضات في الأعصاب بنفس الطريقة التي تنتقل بها الرسائل في الأسلاك؟ وللإجابة على هذا السؤال، دعنا نقارن بين انتقال الحرارة في قضيب من المعدن، وبين انتقالها في لفافة من التبغ مثلا.

في الحالة الأولى تحدث الظواهر التالية: عند تسخين طرف القضيب المعدني، بعود ثقاب مشتعل، فإن طرف القضيب يسخن وترتفع درجة حرارته. وبما أن المعدن موصل جيد للحرارة، فإن الحرارة سوف تنتقل تدريجيا من الطرف الساخن إلى الطرف البارد، وأثناء ذلك، تقل تدريجيا في المقدار، بحيث تكون درجة الحرارة أعلى ما يمكن عند الطرف المعرض للهب، وتكون أقل ما يمكن عند الطرف البعيد عن اللهب. ونلاحظ هنا شيئا هاما، وهو أن درجة حرارة القضيب المعدني، لا يمكن بأي حال من الأحوال أن تزيد

في أي مكان فيه، على مصدر الحرارة الأصلي وهو لهب الثقاب.

ويختلف الوضع كثيرا في الحالة الثانية عند إشعال لفافة التبغ، وذلك لأن لهب عود الثقاب يعتبر الزناد الذي يطلق الطاقة الكامنة فيها. واللفافة لا توصل الحرارة الناتجة من عود الثقاب المشتعل، ولكنها تشتعل ذاتيا بعد ذلك، حتى بعد أن ينطفئ عود الثقاب، تستمر اللفافة في الاشتعال من طرفها الأول إلى طرفها الأخير بسرعة ثابتة.

ومن الملاحظ أن درجة الحرارة التي تحترق بها لفافة التبغ، لا تعتمد على درجة حرارة عود الثقاب المشتعل، فلو أننا بدأنا إشعال طرف لفافة التبغ بواسطة أحد المواقد المعملية، مثل مصباح بنزن، والذي تزيد درجة حرارته على ألف درجه مئوية، لما تغيرت درجة الحرارة التي تحترق عندها لفافة التبغ في هذه الحالة عن درجة حرارتها عندما نشعلها بعود ثقاب. وإذا رفعنا مصدر الحرارة بعد أن تشتعل لفافة التبغ، نلاحظ أن اشتعالها الذاتي يستمر كما هو، كما تستمر بها عمليه انتقال الحرارة مز طرف إلى آخر حتى تحترق اللفافة تماما.

ويشبه انتقال النبضات العصبية في الأعصاب أو في الألياف العصبية، الحالة الثانية، أي حالة لفافة التبغ، في حين يشبه انتقال النبضات في أسلاك البرق الحالة الأولى، أي حالة قضيب المعدن،

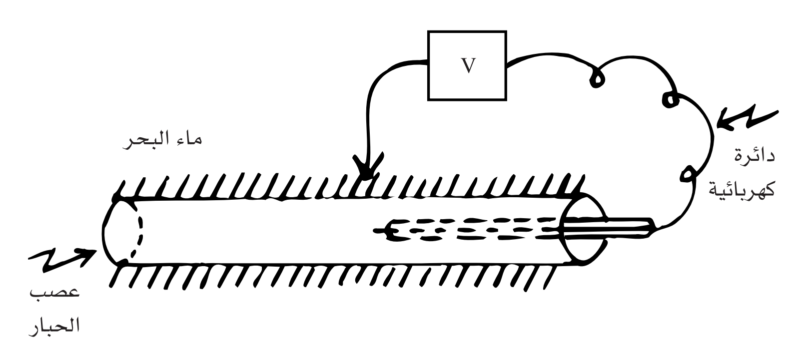
وتبدأ مسيرة النبضات في الأعصاب تحت تأثير المؤثر الخارجي أولا، ثم تنتقل بعد ذلك وحدها نتيجة لانطلاق جهد كهربي محلي من نقطة إلى أخرى دون أن يتغير حجم النبضة أو طبيعتها أو تتغير قوتها، مهما كانت المسافة التي تقطعها هذه النبضة داخل العصب. ولا شك أن هذه الخاصية تعتبر أكبر ضمان لوصول النبضة العصبية إلى المخ بنفس القوة أو بنفس المقدار الذي أثر به المؤثر الخارجي، وبذلك فهي تحمل معها دلالتها على طول الطريق.

وقد أجريت بعض التجارب على انتقال النبضات في الأعصاب، واستخدم في بعض هذه التجارب بعض الأعصاب المنزوعة من أجساد الحيوانات، وتبين منها أنه لا يوجد هناك فارق يذكر بين استجابة العصب وهو في داخل الكائن الحي، وبين استجابته وهو منفصل عن الكائن الحي. وربما لاحظ البعض منا هذه الظاهرة، فعند قتل أحد الحيوانات بسرعة، بقطع

رأسه مثلا، فإن الحيوان يموت في الحال، ولكن الأعصاب تبقى حية لفترة من الزمن، ويشبه هذا ما يحدث عند قطع ذنب البرص المنزلي فإن هذا الذنب الصغير يستمر في الحركة، ويتلوى وحده بعيدا عن جسم البرص لفترة قد تصل إلى دقيقة كاملة أو أكثر.

وقد اتضح كذلك أنه لا يوجد هناك فارق يذكر بين أعصاب الحيوان أو الإنسان، ولكن الفارق الحقيقي يقع في المراكز العصبية في كل منهما، فالمراكز العصبية في الإنسان تعتبر أكثر تخصصا وأكثر تعقيدا، وهي تقوم بوظائف متعددة ومتنوعة، ولكن السلك الموصل، وهو العصب، في الحالتين، يبقى كما هو تقريبا، ولا يختلف كثيرا في الديدان عنه في الضفادع أو في الإنسان.

ويمكننا هنا أن نذكر تجربة بسيطة للدلالة على الطريقة التي تنتقل بها النبضات في الأعصاب، فقد قام بعض العلماء بفصل عصب الحيوان البحري المعروف باسم «الحبار» «Squid» وهو عصب ضخم، يبلغ قطره نحو المليمتر، وهو يزيد لعدة مئات من المرات على سمك بعض الأعصاب في جسم الإنسان، وبذلك. يمكن رؤيته بالعين المجردة ودراسته بسهولة ويسر. وقد وضع هذا العصب بعد فصله، في ماء البحر، وهو ماء يحتوي كما نعرف على بعض الأملاح الذائبة فيه، وبذلك يمكن له أن يوصل التيار الكهربائي بسهولة. وعند توصيل السائل الموجود داخل العصب بماء البحر الواقع خارجه عن طريق دائرة كهربائية حساسة، تبين أنه في الحالة العادية يكون هناك فارق في الجهد بين داخل العصب وخارجه، يصل إلى حوالي 1/20 من الفولت.



وعند تحليل السائل الداخلي في هذا العصب، تبين أنه يحتوي على أيونات البوتاسيوم بتركيز يزيد نحو ثلاثين مرة على تركيز أيونات البوتاسيوم في ماء البحر. وإذا كان الأمر كذلك، وكان تركيز أيونات البوتاسيوم داخل العصب أعلى منه خارجه، فلماذا لا تنتشر هذه الأيونات من الداخل إلى الخارج خلال جدار العصب، وما الذي يمنعها من أن تفعل ذلك؟

لقد ظن البعض أول الأمر، أن جدار العصب غير منفذ لأيونات البوتاسيوم، وفسرت هذه الظاهرة على هذا الأساس، ولكن تبين بالتجربة، أن إضافة أيونات البوتاسيوم إلى ماء البحر حول العصب، يتسبب في اختراق هذه الأيونات لجدار العصب، ودخولها فيه، أي إنها تمر من المحلول المخفف خارج العصب، إلى المحلول المركز داخل العصب، وهو ما يخالف ظاهرة الضغط الاسموزي التي توجب انتقال الأيونات أو المذيبات من المحاليل المخففة إلى المحاليل الأكثر تركيزا.

ولا شك أن هذه التجربة تدل دلالة قاطعة على أن جدار العصب يسمح بمرور أيونات البوتاسيوم، ولكن الشيء الغريب أنها تمر من خارجه إلى داخله، ولكنها لا تمر من داخله إلى خارجه، فلماذا لا تفعل ذلك؟ وما الذي يمسك بهذه الأيونات داخل تجويف هذا العصب، ويمنعها من الخروج منه؟

لقد تبين فيما بعد أن العصب يمسك بأيونات البوتاسيوم في داخله بقوة الجذب الكهربي، فنحن نعرف أن أيونات البوتاسيوم موجبة التكهرب، وأنها لا بد أن تتعادل مع أيونات أخرى سالبة التكهرب، حتى يصبح الجسم نفسه متعادلا، وهذا هو ما يحدث فعلا داخل تجويف العصب، فإن البروتوبلازم الموجود داخل العصب يحتوي على أطراف متعددة سالبة التكهرب، وهذه الأطراف السالبة هي التي تمسك بأيونات البوتاسيوم في داخل العصب، وهي التي تمنع هذه الأيونات من الخروج منه، بل هي التي تقوم بجذب أيونات البوتاسيوم من خارج العصب إلى داخله. وعند إمرار تيار كهربائي ضعيف ومفاجئ في الدائرة الكهربائية الموصلة بين داخل العصب وبين ماء البحر وخارجه، فإن هذا التيار لا يسري في الدائرة إلا إذا وصلت شدته إلى قيمة معينة، وعندها فقط يسري التيار في الدائرة.

ولا شك أن هذه الظاهرة تعيد إلى أذهاننا صورة لفافة التبغ، فإنه يلزم أن نرفع درجة حرارة اللفافة أولا إلى قيمة معينة تعرف باسم حرارة الاشتعال،

وعندها فقط تبدأ اللفافة في الاشتعال أو الاحتراق، أي أن اللفافة لا تحترق أبدا إذا كان مصدر الحرارة غير ساخن بما فيه الكفاية، كذلك العصب، لا يمر فيه التيار الكهربائي أبدا إلا إذا وصلت شدته إلى قيمة معينة.

وماذا يحدث إذا رفعنا من شدة الصدمة الكهربائية الواقعة على العصب؟ هل ستتغير استجابة العصب أم ستبقى ثابتة كما هي؟ لقد اتضح أن استجابة العصب تبقى دائما ثابتة مهما تغيرت شدة التيار الكهربائي. ويعني هذا أن استجابة العصب للمؤثر الخارجي تكون ثابتة على الدوام، وأن النبضة العصبية الناتجة لا تزيد ولا تنقص في المقدار، وهذه الخاصية تشبه خاصية لفافة التبغ شبها كبيرا، فمهما استخدمنا من مصادر حرارية، فإن حرارة اشتعال لفافة التبغ تبقى ثابتة على الدوام.

ويستجيب العصب للمؤثرات الخارجية بسرعة هائلة، وقد تحدث هذه الاستجابة في زمن قصير جدا لا يستغرق إلا جزءا من ألف جزء من الثانية الواحدة.

كذلك تنتقل النبضات العصبية بسرعات هائلة، فقد تقطع النبضة نحو عشرين مترا في الثانية الواحدة داخل العصب، وهي سرعة محسوسة تصل إلى حوالي 72 كيلومترا في الساعة، وتعني هذه السرعة أن الإحساس قد ينتقل من اليد مثلا إلى المخ، وهي مسافة تزيد قليلا عن المتر في حوالي 1 على 20 من الثانية، مما يدل على مقدار استعداد الجهاز العصبي للتفاعل السريع مع البيئة المحيطة بالكائن الحي.

وتتأثر سرعة استجابة العصب للمؤثرات الخارجية بدرجة الحرارة إلى حد كبير، كذلك تتأثر سرعة انتقال النبضات بنفس المقدار، وذلك لأن حساسية الأعصاب تقل بالبرودة بوجه عام، واكبر دليل على ذلك ما نلحظه جميعا أيام الشتاء القارس، عندما تتعرض أيدينا للبرد الشديد فيقل الإحساس بها.

ويستطيع العصب الواحد، تحت الظروف العادية، أن ينقل عددا هائلا من النبضات فقد تتتابع النبضات العصبية فيه بسرعة قد تصل إلى نحو ألف نبضة في الثانية الواحدة، وإن كانت سرعة انتقال النبضات عادة أقل من ذلك بكثير. ولا يكل العصب أو يتعب تحت هذه الظروف، وكلنا لا بد قد

سمعنا عما يسمى عادة بالإرهاق العصبي، وهي حالة تعالج عادة بالراحة أو بالنوم أو بالابتعاد عن العمل، أو بتغيير نوعه. وقد كان من المعتقد أن هذا الإرهاق عبارة عن حالة من الكلال تصيب الأعصاب نتيجة للانتقال السريع والمركز للنبضات العصبية بها، ولكن تبين فيما بعد أن ذلك غير صحيح على الإطلاق، فقد ثبت عمليا أن الأعصاب تستطيع أن تستمر في نقل النبضات العصبية بمعدل هائل قد يصل إلى 100 نبضة في الثانية لعدة ساعات دون أن تبدو عليها علامات التعب أو الإرهاق. وحتى في حالات الإرهاق الشديدة التي تصيب الأفراد، تستمر الأعصاب في نقل النبضات العصبية بالطريقة المعتادة.

ويبدو أن حالة الإرهاق العصبي تتعلق أساسا بالمراكز العصبية الأخرى مثل المخ أو الحبل الشوكي وهي تتميز بخواص أخرى خلاف ما ذكرنا.

وعلى الرغم من أن الأعصاب لا تصاب بالإرهاق، فإنها تحتاج إلى إمدادها بالدم بصفة مستمرة كي تعمل بصورة جيدة. ولو أننا وضعنا ساقا فوق أخرى لفترة طويلة، فإن الساق العليا تصاب بحالة غريبة تفقد فيها الإحساس لفترة ما، وهي حالة نعرفها جميعا ونطلق عليها لفظ «التنميل» فنقول إن الساق «نملت» وكأن مئات من النمل تمشي عليها.

وقد فسرت هذه الظاهرة على أساس أن الشريان الذي يمر خلف الركبة يتم ضغطه عندما نضع ساقا فوق أخرى، ويقلل هذا من سريان الدم إلى القدم مما يترتب عليه الشعور «بالتنميل» أو فقدان الإحساس، إلا أن هذا مغاير للحقيقة، فهناك مسافة كافية خلف ركبة الساق العليا، ويمكن للمرء أن يلحظ ذلك بنفسه، فلا يوجد هناك ضغط واقع على هذا الشريان أو على المنطقة التي يمر فيها، كذلك يمكنه أن يحس بنبض الدم في قدمه رغم فقدان الإحساس مما يدل على أن تيار الدم ما زال يسري في القدم.

وقد اتضح أن الضغط في هذا الوضع، عندما نضع ساقا فوق. أخرى، يقع في الحقيقة على عصب يمر في الناحية الخارجية من الساق أسفل الركبة مباشرة، وعند وضع ساق فوق أخرى، ينضغط هذا العصب بين عظمة الفيبيولا وبين ركبة الساق السفلى، وهذا الضغط الواقع على العصب هو السبب في الإحساس «بالتنميل».

وعند إصابة العصب بصدمة ما، أو عند الضغط عليه في مكان متوسط

منه، يؤدي ذلك إلى حدوث هذا الإحساس الغريب، ونحن نشعر بالتنميل وكأنه وارد من نهاية العصب، وذلك لأن الإحساس الذي يصل إلى الجهاز العصبي المركزي هو نفسه، سواء كان صادرا من نهاية الأعصاب، أو كان صادرا من مكان متوسط في العصب.

وكلنا لا بد قد مررنا بتجربة اصطدام الكوع بالمائدة، وكيف تثير فينا هذه الصدمة شعورا غريبا يتمثل في فقدان الإحساس باليد، خاصة الإصبع الصغرى فيها، وكأن المخ في هذه الحالة يقول «إنني استقبل الآن نبضات تصدر عادة من الإصبع الصغرى».

وإذا عدنا إلى تلك الحالة التي كنا نضع فيها ساقا فوق الأخرى، فإننا نجد أنه بمجرد رفع الساق العليا عن الساق السفلى، يخف الضغط الواقع على العصب، ويبدأ شعورنا بذلك الإحساس الذي يشبه وخز الإبر والذي نطلق عليه «التنميل»، وقد يستمر هذا الشعور لعدة ثوان، وقد يطول إلى دقيقة كاملة، ويبدأ بعد ذلك الإحساس العادي بالساق والقدم في العودة تدريجيا.

ومن الملاحظ أنه خلال الفترة التي نشعر فيها بوخز الإبر، ينقطع الإحساس تماما من الجزء التالي للمكان الذي ضغط فيه العصب، أي ينقطع الإحساس بالقدم تقريبا، ولو أننا خدرنا القدم تماما بحقنها بمخدر، فإن الإحساس بالتنميل، أو بوخز الإبر يستمر، مما يدل على أن هذه الإشارات تصدر فعلا من المكان الذي ضغط فيه العصب، ويدل كذلك على أن المكان الذي يتعرض للضغط في العصب يستطيع أن يصدر نبضات عصبية خاصة به.

ولا يتسبب، الضغط على العصب في حدوث تشوه في تركيب العصب، وإلا احتاج الأمر لعدة أسابيع بدلا من دقائق لعودة الإحساس لهذا العصب. ويبدو أن السبب الحقيقي في فقد الإحساس هو انقطاع الدم عن ذلك الجزء الذي يتم ضغطه من العصب. وكما يقوم الدم بنقل الغذاء إلى كل أجزاء الجسم، فهو يقوم بنقل الغذاء والأكسجين إلى الأعصاب، كما يساعد على إزالة المواد غير المرغوب فيها.

وقد اتضح أن النقص في الأكسجين هو أهم العوامل التي تؤثر على الجهاز العصبي كله، فانقطاع الأكسجين عن المخ مثلا لمدة دقيقة واحدة،

قد يصيب المخ بالشلل. أما في حالة الأعصاب، فان انقطاع الأكسجين عنها لا يؤدي إلى الشلل إلا بعد فترة قد تصل إلى خمس عشرة دقيقة.

وتتحمل الأعصاب هذا النقص إلى حد ما، ويرجع السبب في ذلك إلى أن معدل الاستهلاك للأكسجين في حالة أغلب الأعصاب، صغير جدا، ففي حالة عصب الضفدع مثلا، الذي ينقل حوالي 250 نبضة في الثانية، يحتاج إلى ثلاثة أيام كي يستهلك مثل حجمه من الأكسجين، وهو حجم صغير جدا.

وتقلل برودة الجو من الإحساس العصبي، كما أن ارتفاع درجة الحرارة عن حدود معينة يتسبب في إحداث أضرار بالغة للجهاز العصبي خاصة للمخ.

وقد لوحظ منذ زمن بعيد أنه إذا قام أحد الكلاب بمطاردة أحد الأرانب في يوم حار، فإن هذه المطاردة تستمر فترة طويلة تنتهي بسقوط الأرنب فاقدا للحياة. وقد فسر تحمل الكلب لهذه المطاردة وعدم تحمل الأرنب لها، أن الكلب يستطيع قلبه أن يحتمل المجهود البالغ الذي يبذل في هذه المطاردة في حين أن قلب الأرنب لا يستطيع أن يحتمل كل هذا الإرهاق، فينفجر قلبه ويموت في الحال.

وقد تبين فيما بعد أن قلب الكلب أو قلب الأرنب، لا علاقة لهما بكل ذلك، ولكن الأمر يتعلق بدرجة حرارة المخ في كل منهما، فعند انطلاق الكلب وراء الأرنب، يتسبب ذلك في رفع درجة حرارة جسم كل منهما، ولكن الكلب يملك نظاما خاصا للتبريد، يساعد على خفض درجة حرارة المخ، أو على الأقل يحتفظ بها ثابتة، في حين أن الأرنب الذي لا يملك مثل هذا النظام، إن لم يجد مكانا يختبئ فيه، فسوف ترتفع درجة حرارة مخه إلى حد كبير تتسبب في إتلاف خلاياه وموت الأرنب في الحال.

ويتركب هذا النظام الدقيق للتبريد من مبادل حراري يشبه تلك المبادلات التي تستخدم في الصناعة، فالدم في الثدييات يخرج من القلب متجها إلى المخ، ولكنه قبل أن يدخل إلى المخ، يمر هذا الدم الشرياني في عدد كبير من الفروع أو الشرايين الصغيرة التي توجد داخل انتفاخ يمتلئ بالدم الوريدي الآتي من المخ أو الوارد من الأوردة التي تنتشر في الأنف. وعلى هذا الأساس، فإن الدم الشرياني المندفع من القلب يدخل إلى المخ، بعد أن يكون قد فقد

جزءا من حرارته خلال هذه الفروع الدقيقة إلى الدم الوريدي الأكثر برودة. ويختلف حجم شبكة التبريد السابقة من حيوان لآخر، فهذه الشبكة قد تكون على درجة عالية من الكفاءة في حالة السباع والنمور والقطط، وقد تكون أقل كفاءة من ذلك في حالة بعض الحيوانات الأخرى مثل الكلاب والذئاب وما إليها.

وهكذا نجد أنه في المطاردة السابقة بين الكلب والأرنب، تقوم هذه الشبكة بتبريد الدم الشرياني الذاهب إلى مخ الكلب، في حين أن الأرنب الذي لا يمتلك هذا النظام يندفع الدم الشرياني الساخن إلى مخه طوال الوقت مما يتسبب في إتلاف خلايا هذا المخ ووفاة الأرنب في نهاية الأمر.

والمخ شديد الحساسية للحرارة، فارتفاع درجة حرارته أربع أو خمس درجات عن المعتاد يؤدي إلى الإخلال بوظائفه، وكلنا نعرف أن الحمى الشديدة عند الأطفال تسبب حدوث بعض الانقباضات والتشنجات العضلية، وهي ظواهر تعبر عن ذلك الخلل الذي يطرأ على المخ فوق الساخن، ولهذا السبب نلجأ إلى وضع كمادات من الماء البارد أو الثلج على رأس المريض لتقليل الحرارة بقدر الإمكان.

وعندما يكون الهواء الجوي ساخنا وتزيد حرارته على حرارة الجسم، فإن هذا يؤدي إلى ارتفاع حرارة الجسم وبالتالي ارتفاع حرارة المخ. ولولا وجود هذه الشبكة في الرأس وعملية إفراز العرق أو عملية اللهاث في بعض الحيوانات، التي تساعد على خفض درجة حرارة الجسم وبالتالي خفض درجة حرارة المخ، لما تمكن المخ من القيام بوظائفه على الوجه الأكمل.

وقد بينت التجارب التي أجريت على بعض أنواع الغزلان الأفريقية، التي تمتلك شبكة للتبريد مثل تلك التي تحدثنا عنها، أن درجة حرارة المخ في هذه الغزلان في حالتها العادية، تكون أقل من درجة حرارة جسدها بدرجة واحدة تقريبا، وعندما تبدأ هذه الغزلان في الجري و بذل المجهود، نجد أن درجة حرارة مخها تصبح أقل من درجة حرارة جسدها بثلاث درجات. وقد بينت هذه التجارب وغيرها، أن شبكة التبريد السابقة، لا تقوم بعملها بكفاءة إلا عند بذل المجهود العنيف.

والآن ما هو المخ؟ وهل يستطيع المخ أن يفهم تركيب المخ؟ وبمعنى آخر، هل يستطيع المخ أن يفهم نفسه؟ إن هذا يشبه إلى حد كبير من يحاول أن

يرفع نفسه في الهواء عن طريق رباط حذائه!

وهل المخ آلة حاسبة هائلة الحجم عالية القدرات؟ أم هو في الحقيقة شيء آخر أكبر من هذا وأعمق؟

إن المخ مثل غيره من أعضاء الكائنات الحية الأخرى، يتكون من عديد من الخلايا، وهذه الخلايا تشبه الخلايا المعتادة في صفاتها العامة، وإن كانت على درجة عالية من التخصص. والمخ هو مكان الفكر والذاكرة، ومركز الإحساس والتعلم وذلك الشعور الغريب الذي نسميه المستقبل.

ويمكن دراسة المخ مثله في ذلك مثل غيره من الأنسجة، ويمكن التعرف على إشاراته الكهربائية، ومعرفة الكيميائيات التي تتعامل بها هذه الخلايا التي يتكون منها، كما يمكن الاستدلال على بعض الطرق التي تعمل بها هذه الخلايا، وعلى الرغم من ذلك يبقى المخ وحده فريدا في نوعه، ولا يوجد شيء مثله في هذا الكون.

وتنشأ المشكلة الحقيقية عندما نتكلم عن العقل أو الفهم، ولا يمكننا تعريف العقل بسهولة، فهي كلمة يصعب فهمها على حقيقتها، أو وضع مدلول لها، ولكنها بالقطع تمثل إحدى الوظائف التي يقوم بها المخ بكفاءة عالية، وربما كانت في الحقيقة نتاجا لعدة وظائف يقوم بها المخ.

ويصعب علينا أن نتصور تركيب المخ على حقيقته، فهو على الرغم من صغر حجمه وخفة وزنه الذي لا يزيد على الكيلوجرام إلا قليلا في الإنسان، يقوم بمئات من المهام ويحكم رقابته على كل شيء، ويصبح هو الآمر الناهي في جسد الكائن الحي. ويتكون المخ من عدد هائل من الخلايا يزيد على مائة ألف مليون خلية، وهو عدد يشبه عدد النجوم التي تتكون منها مجرتنا الهائلة.

وتتكون الخلايا العصبية من جسم يبلغ قطره نحو ٠,١ من المليمتر تقريبا، ويتفرع من هذا الجسم فرع رئيسي يسمى أكسون وعدد آخر من الفروع الثانوية تسمى دندرتيات «Dendrites». وتتبادل الخلايا العصبية الإشارات فيما بينها، وتنطلق هذه الإشارات بطريقة مزدوجة، فهي إشارات كهربائية في إحدى مراحلها، تتحول إلى إشارات كيميائية في مرحلة أخرى، فالإشارة التي تنشأ في الخلية العصبية وتنطلق في الأكسون هي إشارة كهربائية، وعندما تصل هذه الإشارة إلى نهاية ألا كسون تتحول إلى إشارة

كيميائية، فهي تنتقل من خلية إلى أخرى عن طريق بعض الجزيئات الكيميائية التي تسبح خلال نقط الاتصال الواقعة بين الخلايا والتي تعرف باسم «Synapse».

وعلى الرغم من أن الخلية العصبية تشبه غيرها من خلايا الجسم من ناحية التركيب العام، ومن ناحية احتوائها على العوامل الوراثية نفسها، إلا أنها كما رأينا تتشكل بشكل خاص يسمح لها بنقل المعلومات من خلية إلى أخرى.

ويعتمد عمل المخ على عملية نقل المعلومات بين خلية وأخرى. وكل خلية عصبية مؤهلة لذلك كل التأهيل. فكل خلية منها قد تملك ما بين 1000 إلى حوالي 10000 نقطة اتصال تسمح لها بنقل ما لديها من معلومات إلى غيرها من الخلايا، كما أنها تستطيع أن تتلقى معلومات من حوالي 1000 خلية عصبية أخرى.

ويعتقد كثير من العلماء أن قدرة الفرد على الإحساس وعلى التفكير والتذكر والتعلم، تعتمد اعتمادا كبيرا على عدد نقط الاتصال التي تقع بين خلايا المخ وعلى طبيعتها، وربما كان من أهم الوظائف التي يحققها الاتصال بين خلايا المخ العصبية، هي القدرة على تغيير السلوك كرد فعل لحصيلة المؤثرات الخارجية أو الخبرة، وهي ما نسميه بالقدرة على التعلم، وكذلك القدرة على اختزان هذه التغيرات لفترة من الزمان، وهي ما نسميه بالذاكرة. ولا شك أن القدرة على التعلم والذاكرة، هي أهم ما يميز مخ الإنسان من غيره من الكائنات الأخرى. ويعتبر المخ من أكثر أجزاء الجسم استهلاكا للطاقة، ويبدو ذلك واضحا من تزويده بكميات كبيرة من الدم، ومن استهلاكه لكميات كبيرة من الأكسجين. وبرغم أن المخ لا يمثل إلا حوالي 2٪ من وزن الجسم كله، إلا أن استهلاكه للأكسجين يزيد على حوالي 20٪ من استهلاك الجسم الكلي للأكسجين في حالة السكون، ويبلغ مقداره نحو 50 ملليلتر في الدقيقة الواحدة. ويتضح من ذلك الاستهلاك الكبير للأكسجين مدى تعقيد وظائف المخ وعمله الدائم، ويبدو أن استهلاك المخ الكبير للطاقة يتم للحفاظ على التوازن الأيوني خلال أغشية الخلايا، وهي تلك العمليات التي تنتقل عن طريقها المؤثرات المختلفة بين ملايين الخلايا العصبية.

ولا يتغير معدل استهلاك الطاقة بالنسبة للمخ خلال الليل والنهار، فهو

لا يقل ليلا، ولا يزيد نهارا، ولكن هذا المعدل يبقى ثابتا إلى حد كبير، بل قد يزيد قليلا في أثناء فترات الأحلام بالليل، ولكن المكافئ الكهربائي لهذه الطاقة المستخدمة بواسطة المخ لا يزيد عادة على نحو 20 وات.

وقد تستطيع خلايا الجسم في أجزائه المختلفة استعمال أنواع مختلفة من الوقود، فهي قد تحرق السكريات أو الدهون أو الأحماض الأمينية، كي تحصل على الطاقة اللازمة لها، ولكن الخلايا العصبية لا تستطيع ذلك، فهي لا تستعمل إلا الجلوكوز الموجود في الدم. كذلك قد تستطيع بعض خلايا الجسم الأخرى أن تعمل ولو فترة قصيرة، في غياب الأكسجين مثل خلايا العضلات، ولكن خلايا المخ شديدة الاحتياج إلى الأكسجين، ولا يمكنها الاستغناء عنه أبدا، فإذا انقطع تيار الدم الحامل للأكسجين عن المخ، فإن هذا يتسبب في فقدان الشعور خلال عشر ثوان، وقد يتسبب ذلك في إصابة المخ ببعض الأضرار، ويحدث الشيء نفسه إذا قل مستوى الجلوكوز في الدم الوارد إلى المخ، فيدخل الشخص في غيبوبة مثلما يحدث عندما يحقن المصاب بالسكر نفسه بجرعة زائدة من الأنسولين.

والخلايا العصبية فائقة الحساسية، فقد يحدث بعض الخلل في وظائفها إذا دخلت بعض المواد الغريبة السامة إليها مع تيار الدم، أو إذا وصلت إليها بعض الجزيئات الصغيرة مثل جزيئات بعض الأحماض الأمينية، ولعل هذه الحساسية الفائقة هي السبب في أن المخ معزول عن الدورة الدموية العامة بذلك النظام ذي الترشيح الاختياري، والذي يعرف باسم «حاجز الدم-المخ».

وتعود كفاءة هذا الحاجز إلى عدم النفاذية النسبية للأوعية الدموية في المخ وإلى أن هذه الأوعية تحاط بجدار آخر من خلايا نسيج المخ، وهي خلاف الخلايا العصبية وتسمى خلايا جلايل Glial cells وهي خلايا النسيج التي تحمل فيما بينها الملايين من الخلايا العصبية.

ونظرا لوجود هذا الجدار الآخر من الخلايا المذكورة حول الأوعية الدموية، فإن كثيرا من المواد والجزيئات لا تستطيع عبور هذا الحاجز، ولا تستطيع، بذلك، النفاذ خلال جدر هذه الأوعية، ولا يمنع ذلك طبعا مرور بعض الجزيئات الصغيرة، مثل جزيئات الأكسجين، ولكن وجود هذا الحاجز يجعل من الضروري أن يأخذ المخ ما يحتاجه من الجزيئات الكبيرة مثل

جزيئات الجلوكوز عن طريق تيار الدم فقط.

ويشبه هذا النظام تلك الأسوار التي كثيرا ما نقيمها حول ممتلكاتنا لمنع دخول غير المرغوب فيهم، والسماح لقلة آخرين بالدخول عن طريق البوابات فقط. ويعتبر نظام «حاجز الدم-المخ» ذا أهمية خاصة عندما نفكر في صنع الأدوية التي يتطلب أن تؤثر على المخ، فإن جزيئات هذه الأدوية لا بد أن تكون صغيرة الحجم حتى تستطيع اجتياز هذا الحاجز والنفاذ خلال جدر الأوعية، أو أن تكون سهلة الذوبان في الأغشية الدهنية لجدر خلايا نسيج المخ أو خلايا الجلايل.

وهناك أجزاء قليلة من المخ غير محمية بهذا الحاجز الذي نحن بصدده، وهذه الأجزاء تستطيع أن تستقبل أصنافا متعددة من الجزيئات ومن المعتقد أن هذه الأجزاء مخصصة لاستقبال الهرمونات، أو أن وظيفتها مراقبة التركيب الكيميائي للدم.

ولا يمكن استبدال الخلايا العصبية للمخ، فهذه الخلايا يجب أن تبقى مدى حياة الكائن، ولهذا فلا بد أن تكون هناك ميكانيكية خاصة لتجديد مكونات هذه الخلايا، ويقتضي هذا أن تقوم هذه الخلايا بتصنيع عشرات من الجزيئات الكبيرة ومئات من الأنزيمات في نواها.

وتعتبر الوظائف الكيميائية للمخ على درجة عالية من التعقيد، فجميع المواد الناقلة «Transmitters» وهي المواد التي تؤدي إلى انتقال النبضات أو الإشارات من خلية إلى أخرى عن طريق نقط الاتصال، لا تفرز إلا بكميات ضئيلة جدا، وذلك بالإضافة إلى التعقيد البالغ لأنسجة المخ، حتى أنه يصعب فصل هذه المواد الناقلة أو التعرف عليها.

وقد تمكن بعض الباحثين من تفكيك الخلايا العصبية بطريقة خاصة، وتمكنوا بذلك من الحصول على بعض نهايات الأعصاب في حالة سليمة، وقاموا بتحليل مكونات هذه النهايات، وقد تبين لهم من هذه التجارب أن أغلب المواد الناقلة للإشارات العصبية تتركز في نهايات الأعصاب، وهي عبارة عن جزيئات صغيرة الحجم تحتوي على النتروجين.

وتنقسم هذه الناقلات من حيث فعلها إلى قسمين، فهناك مجموعة منها ذات أثر منشط، وهناك مجموعة أخرى منها ذات أثر مثبط، وإن كان هذا التقسيم لا يتصف بالوضوح أحيانا، وذلك لأن بعض هذه الناقلات قد

يكون له أثر منشط في جزء من المخ، بينما يكون له أثر مثبط في مكان آخر منه. وأهم الناقلات ذات الأثر المثبط في المخ هو حمض «جاما» امينو بيوتيريك «Aminobutyric Acid - γ» ويطلق عليه اختصارا اسم «جابا» .GABA

$$H_2N - CH_2 - CH_2 - CH_2 - COOH$$

حمض جاما امينوبيوتيريك

«جابا»

ويتركب هذا الحمض من سلسلة من ثلاث ذرات من الكربون تتصل بأحد أطرافها مجموعة أمين، وتتصل بالطرف الآخر مجموعة كربوكسيل، وبذلك فهو ينتمي إلى مجموعة الأحماض الأمينية التي سبق أن ذكرناها، والتي تتكون منها جميع بروتينات الجسم.

ولا يدخل هذا الحمض الأميني «جابا» في تركيب بروتينات الجسم، وهي ملاحظة فريدة في نوعها، وكأن هذا الحمض يصنع في الجسم لاستخدامه في المخ فقط، ولعل هذا نوع من الاستقلال في العمل بالنسبة للمخ، وهو فعلا لا يصنع في أي مكان في الجسم، ولكن يجري تصنيعه في المخ أو في الحبل الشوكي فقط. ومن المقدر أن 30٪ على الأقل من نقاط الاتصال بين خلايا المخ تستعمل هذا الحمض في عمليات نقل الإشارات العصبية.

وهناك حمض أميني آخر قريب الشبه من «جابا» يقوم المخ باستخدامه في نقل الإشارات العصبية، وهو يعرف باسم حمض الجلوتاميك، ولكنه في هذه الحالة ذو أثر منشط في المخ، ويعد هذا مثالا للتعبير عن كيفية أن تغييرا بسيطا في التركيب الكيميائي يؤدي إلى تغير واسع المدى في عمل وأثر المادة.

$$H_2N - CH - CH_2 - CH_2 - COOH$$

COOH

حمض جلوتاميك

ومن المعتقد أن بعض المهدئات مثل «ديازيبام» المعروف باسم «الفاليوم» ليس له أثر مباشر في المخ، ولكنه يساعد على زيادة فعالية «جابا» في تثبيط النبضات العصبية في الأماكن التي له فعل فيها.

وتتلخص العمليات الكيميائية التي تحدث عند نقط اتصال الأعصاب، في عدة خطوات تحدث بالترتيب التالي:

أولا: يتم تخليق المادة الناقلة في الخلية الحية من أقرب المواد شبها بها، ويتم ذلك عادة بواسطة أنزيمات خاصة، كما قد يحدث هذا التخليق على خطوة واحدة أو على خطوات.

ثانيا: يتم نقل جزيئات المادة الناقلة من جسم الخلية إلى نهايات الأعصاب حيث تختزن هناك داخل حويصلات خاصة عند نقط الاتصال بين الخلايا، وتقوم هذه الحويصلات بحماية جزيئات المادة الناقلة من فعل الأنزيمات المختلفة التي تسبح في سوائل الخلية والتي قد تدمر هذه الجزيئات. وتحتوي كل حويصلة من هذه الحويصلات على نحو 100000 من هذه ا لجزيئات.

ثالثا: عند وصول نبضة عصبية (على هيئة إشارة كهربائية) إلى نهايات الأعصاب، تقوم هذه بإطلاق عدد هائل من أيونات الكلسيوم، وتؤدي هذه بدورها إلى إطلاق جزيئات المادة الناقلة في الفراغ الواقع بين نقط اتصال الخلايا، وتندفع هذه الجزيئات سابحة في هذا الفراغ الخلوي المملوء بالسوائل والذي يقع بين طرف العصب وبين غشاء الخلية العصبية التي ستتلقى النبضة أو الإشارة.

رابعا: تتفاعل جزيئات المادة الناقلة مع بعض مواقع الاستقبال الموجودة بغشاء الخلية المستقبلة للنبضة وبذلك تصل الرسالة من خلية إلى أخرى.

وينبغي هنا أن نتكلم قليلا عن مواقع الاستقبال الموجودة بجدار الخلية المستقبلية للنبضة، فهذه المواقع عبارة عن جزيئات كبيرة من البروتين مدفونة في غشاء الخلايا، والتي سبق لنا أن تكلمنا عنها عندما تناولنا جدار الخلية الحية، وتشبه هذه الجزيئات البروتينية الضخمة جبال الثلج العائمة فوق سطح الماء بل قد تظهر منها بعض الأجزاء خارج جدار الخلية، وتبرز كذلك أجزاء أخرى منها داخل الخلية.

وهناك منطقة خاصة في هذا الجزء الضخم يمكن أن يتداخل فيها جزء المادة الناقلة، وتشبه هذه المنطقة، ذلك الموقع النشيط الذي تحدثنا عنه في حالة الأنزيمات. ولا يمكن لهذا الموقع النشيط أن يستوعب إلا تلك الجزيئات التي يتناسب شكلها الفراغي مع شكله وحجمه وبذلك تستطيع أن تتداخل فيه، كذلك يتصرف الموقع النشيط في الحالة التي نحن بصددها،

فلكل نوع من المواد الناقلة موقع خاص تستطيع أن تتداخل فيه جزيئاتها كما يتداخل المفتاح في القفل الخاص به.

ويؤدى تداخل جزء المادة الناقلة في جزء البروتين إلى تغير في الشكل الفراغي العام لجزء البروتين المستقبل، ويؤدى ذلك إلى صدور نبضة أخرى قد تنشط الخلية العصبية أوتثبيطها، أوقد تؤدى إلى انقباض عضلة أو إلى أن تقوم غدة بإفراز أحد الهرمونات أو ما شابه ذلك.

وفي كل حالة من الحالات يقوم جزء البروتين المستقبل بترجمة الرسالة الكامنة في التركيب الكيميائي للمادة الناقلة إلى رد فعل فسيولوجي محدد. وقد لا يستغرق رد الفعل المذكور جزءا من الثانية كما يحدث عند انقباض العضلات، وقد يستغرق رد الفعل عدة دقائق في حالات أخرى، وأحيانا يستغرق عدة ساعات كما في حالة تصنيع الهرمونات.

ومن المعتقد أن تغير الشكل الفراغي العام لجزيئات البروتين المستقبلة يتسبب في فتح بعض الثغور أو المسام في جدار الخلية مما يساعد على مرور بعض الأيونات من داخل الخلية إلى خارجها أو بالعكس، وذلك نتيجة لتغير الجهد الكهربائي في هذا الموقع بعد تداخل المادة الناقلة. ويعتمد الأثر المثبط أو المنشط للمادة الناقلة على نوع الأيونات التي تتحرك وعلى اتجاه هذه الحركة.

ويمكننا أن نضرب مثالا لذلك بتلك المادة الناقلة المسماة أسيتايل كولين، فهذه المادة لها أثر منشط عند نقطة الاتصال بين العصب وبين العضلات، وذلك لأن هذه المادة الناقلة تؤدي إلى حركة أيونات الصوديوم موجبة التكهرب من خارج الخلية الحية إلى داخلها، وبذلك يتعادل جزء كبير من الشحنات السالبة بها، أو بمعنى آخر يتعادل الجهد السالب الذي تحمله الخلية بداخلها.

ومن ناحية أخرى، تقوم تلك المادة الناقلة المسماة «جابا» السالفة الذكر بتنشيط البروتين المستقبل الموجود بجدار الخلية بطريقة تسمح بمرور أيونات الكلور السالبة التكهرب، وهي تندفع في هذه الحالة من خارج الخلية إلى داخلها كذلك، وبذلك تساعد على زيادة فرق الجهد الكهربي خلال جدار الخلية، وبذلك تحيلها إلى خلية غير نشيطة بصفة مؤقتة، ولهذا يقال عن «جابا» إنها مادة ناقلة ذات أثر مثبط للنبضات العصبية.

وليست الأمور بهذه البساطة دائما، فإن هناك نظرية أخرى تقول إن

$$CH_3 - \overset{\overset{\Large O}{\|}}{C} - O - CH_2 - CH_2 - \overset{\oplus}{N}(CH_3)_3$$

أسيتايل كولين

المواد الناقلة التي نحن بصددها تساعد على زيادة تركيز مراسل آخر موجود في الخلية المستقبلة للنبضة العصبية، وقد تفعل المادة الناقلة طبعا عكس ذلك، فتساعد على الإقلال من تركيز هذا المراسل الأخر، ويؤدي حدوث هذه الظاهرة أو تلك إلى حدوث الأثر المنشط أو الأثر المثبط للمادة الناقلة.

ومن الملاحظ أن جميع المواد الناقلة تحتوي على عنصر النتروجين في تركيبها وغالبا ما تحتوي جزيئاتها على مجموعة الأمين NH_2 - أو مشتقاتها، ولذلك فإننا نجد أن هناك عددا كبيرا من هذه المواد الناقلة، ومنها مثلا جزيئات بروتينية صغيرة تنتهي سلاسلها هي الأخرى بمجموعة الامين NH_2-، وهي تسمى عادة الببتيدات العصبية، وتتركب جزيئاتها من عدد قليل من وحدات الأحماض الأمينية يتراوح بين 5-39 وحدة من هذه الأحماض.

وتوجد هذه الببتيدات العصبية عادة في نهايات الأعصاب، ويبدو أنها تنظم العمليات الأكثر تعقيدا مثل الشعور بالعطش والذاكرة والتصرفات الجنسية، وغيرها، وهي تلعب أدوارا متعددة في أماكن مختلفة من الجسم، فنجد أن بعضا منها يمنع إطلاق هرمون النمو من الغدة الصنوبرية، ومنها ما ينظم إفراز الأنسولين من البنكرياس وهكذا.

وعند تداخل جزئ المادة الناقلة مع المستقبل فإنه يجب إزالة نشاطه في الحال، وإلا استمر أثره مدة طويلة مما يفسد نظام تبادل الإشارات بين الخلايا. ويمكن إزالة نشاط بعض هذه المواد الناقلة بواسطة أنزيمات خاصة توجد في الفراغ الواقع بين نقط اتصال الخلايا بعضها ببعض، ومن أمثلة ذلك أسيتايل كولين، فهناك أنزيم خاص يسمى «اسيتايل كولين استراز» يستطيع أن يدمره في الحال، وهو يستطيع أن يدمر 25000 منه جزئ في الثانية الواحدة.

ولا تنطبق هذه الحالة على جميع المواد الناقلة، فإن بعضا منها بعد أن

ينطلق من نهاية الأعصاب ليحدث الأثر المطلوب، فانه يعاد امتصاصه إلى الداخل مرة أخرى. وهناك إما أن يدمر بواسطة أنزيمات خاصة وإما أن يعاد استخدامه مرات ومرات.

ومن أمثلة الحالة الأخيرة تلك المواد الناقلة مثل جابا، والدوبامين والسيروتونين. وتحقق هذه الحالة الأخيرة وفرا هائلا في المواد الناقلة حيث يمكن إعادة استخدامها مرات ومرات.

CH2-CH2-NH2
HO
OH

Dopamine دوبامين

HO
CH2-CH2-NH2
N
H

Serotonin سيروتونين

وقد ألقت البحوث التي أجريت في هذا المجال كثيرا من الضوء على الطريقة التي تعمل بها بعض العقاقير، فهي إما أن تساعد على إفراز المادة الناقلة أو تعوق إفرازها، ومن أمثلة ذلك الأمفيتامين، فهو يساعد على إطلاق المادة الناقلة المسماة الدوبامين من نهاية الأعصاب وهي مادة ناقلة تؤثر على مراكز الإحساس بالسعادة في المخ. وعند استخدام كميات كبيرة من الامفيتامين يؤدي ذلك إلى بلبلة الأفكار والهلوسة وغيرها من الأحاسيس المماثلة.

وهناك كثير من العقاقير التي تشبه المواد الناقلة في التركيب، وهي لهذا تستطيع أن تؤثر على الميكانيكية التي تعمل بها الناقلات أحادية الأمين. ومن أمثلة ذلك عقار الهلوسة المسمى «المسكالين»، وهو عبارة عن قلواني يوجد في كثير من النباتات وهو يشبه المادة الناقلة «الدوبامين» كما يشبه المادة الناقلة «نورابينفرين» في التركيب.

CH2-CH2-NH2
CH3O
CH3O
OCH3

Mescaline مسكالين

CH (OH)-CH2-NH2
HO
OH

Norepinephrine نورابينفرين

كذلك فإن عقار الهلوسة المعروف باسم حمض «ليسرجيك ثنائي اثيل أميد»، أو «LSD»، وهي الحروف الأولى من اسمه «Lysergic Acid Diethylamide» فهو يشبه المادة الناقلة السيروتونين إلى حد ما.

C_2H_5
N-OC
C_2H_5
N-CH_3
N
H

L S D

ويعتبر عقار الهلوسة «LSD» فريدا في نوعه، فهو ذو تأثير غير عادي على الإنسان، حيث إن تعاطي كمية ضئيلة للغاية منه، لا تزيد عن 75 ميكروجرام تكفي لإحداث الهلوسة.

وقد تقوم بعض هذه العقاقير بالتداخل في مواقع الاستقبال العصبية بدلا من المواد الناقلة فتحدث بذلك آثارها غير المرغوب فيها، كما أن بعضا منها قد يعمل عن طريق غير مباشر وذلك باستثارة مراسل ثان داخل الخلية. ويبدو أن مجموعة المواد المنبهة مثل الكافيين والمواد المشابهة له، تعمل بهذا الأسلوب الأخير، فهذه المواد التي توجد في القهوة أو في الشاي، تمنع تكون أنزيم خاص يتخصص في تدمير المراسل الثاني وهو في هذه الحالة أدينوسين الأحادي الفوسفات، وعلى هذا فإن تعاطي مثل هذه المواد باعتدال يساعد على زيادة تركيز المراسل الثاني وهو أدينوسين الأحادي الفوسفات، وبذلك يمكن اعتبارها مواد منشطة معتدلة التأثير.

وعلى الرغم من هذه المعلومات الهائلة التي توصل إليها العلماء المتخصصون في هذا المجال، والتي لم نذكر منها إلا أقل القليل، فما زالت الطريقة التي يعمل بها المخ ويسيطر بها على جسد الكائن الحي تمثل واحدا من أصعب التحديات أمام العلم الحديث.

ويعتقد بعض العلماء أن ما نسميه بالذكاء، أو القدرة على التفكير والاختبار، من أهم الظواهر التي تميز بين الإنسان وغيره من المخلوقات. ولا يعرف أحد على وجه التحديد مركز هذه الظاهرة أو مكانها في المخ. ويبدو أنها حصيلة نشاط خلايا المخ ومراكزه مجتمعة، وبذلك تكون حصيلة ذلك النشاط الذي تبديه بعض الجزيئات العضوية الكبيرة التي يتركب منها المخ وتسبح في خلاياه.

ويرى البعض أن خاصية الذكاء، وهي إحدى مميزات الحياة في أرقى صورها، لن تعتمد في المستقبل على عناصر عضوية من الجزيئات الكبيرة، ولكنها ستعتمد بعد ذلك على عناصر آلية من نوع خاص، ويعني ذلك أن خاصية الذكاء لن ترتبط بالمخ البشري فقط كما هو الآن، ولكنها ستكون مستقبلا خاصية عامة يمكن لبعض الآلات، مثل الحاسبات الإلكترونية وغيرها، أن تمتلكها!

ويرى أصحاب هذا الرأي أن تخزين المعلومات بدأ في أول الأمر في جزيئات عضوية كبيرة عملاقة، هي جزيئات الحمض النووي DNA، الذي يحمل ما يزيد على ألف مليون معلومة، ثم بدأ بعد ذلك تخزين المعلومات الزائدة في عناصر عضوية أخرى وهي العناصر التي يتكون منها المخ، والتي تتسع لتخزين ما يزيد على ألف مليون معلومة أخرى أو أكثر.

وبزيادة المعلومات التي عرفها الإنسان، لم يستطع المخ الاحتفاظ بهذا الكم الهائل من المعرفة، فاستخدام عناصر أخرى مثل الورق والكتب لاستيعاب آلاف الملايين من المعلومات الأخرى التي حصل عليها الإنسان، وصف هذه الكتب في مكتبات هائلة في كل مكان. ويبدو أننا قد دخلنا في عصر جديد زادت فيه المعلومات والمعرفة إلى حد يفوق طاقة البشر، ولا يتسع له كل ما صنعه الإنسان من كتب ومكتبات، ولهذا لجأ الإنسان إلى عناصر آلية لتخزين هذه المعلومات واستعادتها عند الحاجة إليها فكان ابتكار الحاسبات الإلكترونية التي نستخدمها في كل مجال اليوم.

وقد قام الإنسان بصنع الحاسبات الإلكترونية على نمط مشابه كل الشبه للنمط الذي يعمل به المخ البشري، وتمكن من أن يعطي هذه الحاسبات القدرة على القيام ببعض الوظائف التي يقوم بها المخ، ولهذا فهو يتصور أن مثل هذه الحاسبات ستستطيع في يوم من الأيام أن تقوم بكل وظائف المخ

بما فيها الذكاء. وهناك من يتصور أن مثل هذه الحاسبات الإلكترونية المتقدمة ستصبح يوما ما أكثر تفوقا من العقل البشري وأنها قد تمتلك القدرة على تعليم نفسها بنفسها، تماما كما يفعل الإنسان. فهو يستخدم قوة ملاحظته وخبراته السابقة في تجنب الوقوع في الأخطاء. ويرى أصحاب هذه التصورات أن عملية التعليم هذه ستؤهل هذه الحاسبات للوصول إلى مرحلة العبقرية والتفكير، وبذلك ينشأ في نهاية الأمر جيل من الحاسبات الإلكترونية يمكننا أن نسميه جيل العباقرة الآليين، له قدرة على الابتكار والابتداع، ويتفوق على الإنسان نفسه في كل شيء.

ويستند أصحاب هذا الرأي إلى تلك السرعة الهائلة التي تطورت بها الحاسبات الإلكترونية منذ ظهورها، ويمكننا أن نقول إن هناك جيلا جديدا متطورا من هذه الحاسبات كل عشر سنوات تقريبا. ويعني كل ذلك أن نمو قدرات الحاسبات الإلكترونية وازدياد ذكائها، سيأتيان بصورة طبيعية، فهذا النمو سيرتبط بالتقدم في تركيبها وزيادة إمكانياتها لا أكثر، وسيكون كل ذلك نتيجة طبيعية لتعاقب أجيالها المختلفة جيلا بعد جيل، وإذا استمرت هذه الحاسبات في التقدم بهذا الأسلوب، فسوف تسبق النمو الطبيعي لذكاء الإنسان.

ولا يمكننا بالطبع أن نأخذ هذه الأفكار مأخذ الجد، خاصة إذا علمنا أن المخ البشري الذي يقارن الآن بهذه الحاسبات، لا يعمل إلا بخمس طاقته الكلية، أي بما لا يزيد على 20٪ من طاقته وقدراته الفعلية، فما بالنا إذا عمل هذا المخ بطاقته الكاملة!

وإذا قارنا قدرات المخ البشري بقدرات أفضل الحاسبات الإلكترونية الموجودة اليوم، لا تضح لنا على الفور أن هذه المقارنة ستكون في صالح المخ البشري. فمتوسط وزن المخ البشري مثلا لا يزيد على 1,3 - 1,4 كيلو جرام من المادة الحية. ورغم هذا الوزن الصغير، فإن المخ البشري يمتلك عددا هائلا من الخلايا المتخصصة يزيد عددها على ثلاثين بليونا، وتستطيع هذه الخلايا الصغيرة أن تستوعب وتختزن قدرا هائلا من المعلومات يفوق كل وصف-فالمخ البشري يستطيع أن يختزن في ذاكرته ما يقرب من مائة ألف مليون معلومة في نفس الوقت، وهو لا يستهلك في عمله إلا قدرا ضئيلا جدا من الطاقة لا يزيد عن 20 وات فقط.

ولا شك أن هذا يمثل قمة الإعجاز، ففي داخل تلك الكتلة الرمادية من خلايا المخ، تختزن كمية هائلة من المعلومات والخبرات والأحداث التي عاشها الإنسان. ولو أننا أردنا أن نسجل كل تلك المعلومات على الأوراق، لاحتاج الأمر إلى ملايين الصفحات، ولو جمعت هذه الصفحات على هيئة كتب متوسطة الحجم، لاحتجنا إلى آلاف الأمتار المكعبة لحفظ هذه الكتب.

وإذا قارنا كل ذلك بقدرة الحاسبات الإلكترونية، لوجدنا أن أقوى هذه الحاسبات وأكثرها كفاءة اليوم، لا يمكنه أن يختزن في ذاكرته إلا بضع ملايين فقط من هذه الأحداث والمعلومات. وعلى حين يبدو هذا الرقم ضئيلا وهزيلا بمقارنته بإمكانيات ذاكرة المخ البشري، فإن حجم مثل هذا الحاسب الكفء، سيبدو هائلا بالنسبة لحجم المخ البشري الصغير، الذي لا يزيد حجمه عن حجم جمجمتنا، بينما يشغل هذا الحاسب حجما هائلا، قد يصل إلى عدة غرف وقاعات. ويجب ألا ننسى هنا، أن هذا الحاسب القليل الإمكانيات، الكبير الحجم، يحتاج إلى قدر كبير من الطاقة قد يبلغ مائة ألف وات أو يزيد.

وتوضح هذه المقارنة البسيطة مقدار الكفاءة البالغة التي يبديها المخ البشري، فرغم صغر حجمه، الذي لا يزيد على حجم أحد أشرطة التسجيل بأي حاسب إلكتروني، فهو يستطيع أن يقوم بعمل يزيد على عمل الحاسب الهائل آلاف المرات، ولا يستخدم في ذلك إلا قدرا محدودا جدا من الطاقة، ويفعل كل ذلك بما لا يزيد على خمس طاقته الكلية فقط.

ولو أننا أردنا أن نبني حاسبا إلكترونيا يستطيع أن يقلد طاقات المخ البشري كاملة، لوجدنا أن أبعاد هذا الحاسب ستصل إلى حدود هائلة، ولا بد له أن يشغل حجما مذهلا، قد يفوق حجم الكرة الأرضية نفسها، كما أنه سوف يستهلك قدرا رهيبا من الطاقة قد يصل إلى حوالي ألف مليون وات. وبالرغم من كل ذلك، فإن مثل هذا الحاسب الإلكتروني الضخم، لن يكون في نهاية الأمر سوى تقليد بدائي ساذج للمخ البشري.

والمخ البشري يشغل موقعا فريدا بين سائر الموجودات في هذا الكون، ولا يوجد ما يماثله على الإطلاق، وربما كان من أعجب الأمور أن المخ يكتب الآن عن نفسه عندما أكتب هذه الكلمات، ويقرأ أيضا عن نفسه عندما تقرأ أنت هذا الكتاب.

16 مصادر الطاقة في الخلية الحية

تجري في الخلية الحية مئات من التفاعلات الكيميائية المتنوعة، ولهذا فان الخلية تحتاج إلى مصدر مستمر من مصادر الطاقة لدفع هذه التفاعلات إلى نهايتها، ولإجراء عملياتها الحيوية، وحتى تستطيع القيام بوظيفتها على خير وجه. وتشبه الخلية الحية الشمعة إلى حد كبير، فكلاهما يحتاج إلى أن يحرق جزءا من الوقود للحصول على الطاقة المطلوبة.

وتتم عملية حرق الوقود في الشمعة على خطوة واحدة، فتتحول الطاقة الكيميائية إلى ضوء وحرارة مرة واحدة وذلك عن طريق إحراق المادة الهيدروكربونية التي تتكون منها الشمعة، وهي الشمع، حيث تتحول في وجود أكسجين الجو إلى ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.

ولا تستطيع الخلية الحية أن تحصل على الطاقة اللازمة لها بنفس هذا الأسلوب، فهي لا تستطيع أن تحرق ما بها من وقود دفعة واحدة، كما تفعل الشمعة، وذلك لأن الخلية الحية لا يمكنها أن تستعمل الطاقة الحرارية الكبيرة التي قد تنتج عن

هذا الإحراق. ولهذا نجد أن الخلية الحية تتحايل على ذلك، وتتغلب على هذه الصعوبة بإحراق ما بها من وقود على عدة خطوات متتابعة، يكون أقلها وأندرها تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة حرارية.

ويعني ذلك أن الخلية الحية لا تطلق الطاقة الناتجة عن إحراق الوقود على هيئة طاقة حرارية، ولكنها تفعل ذلك عن طريق بعض عمليات الأكسدة المتتابعة، وتمتص الطاقة الناتجة عن هذه العمليات في بناء جزيئات جديدة تختزن فيها الطاقة اللازمة لها، ثم تعيد استخدام هذه الطاقة عند الضرورة لإجراء العمليات الحيوية المختلفة.

وتستطيع الخلية أن تعيد استخدام هذه الطاقة المختزنة على عدة أشكال، فهي قد تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة حركية، تستغلها في تحريك عضلات الجسم، كما أنها قد تحولها إلى طاقة كهربية تستغل في إرسال النبضات الصادرة من الأعصاب، أو قد تحولها إلى طاقة ضوئية كما يحدث في حالة بعض الأسماك المضيئة التي تعيش في قاع البحر.

ويحتاج الأمر هنا إلى وقفة هادئة للنظر في موضوع الطاقة، فمن المعروف أن قوانين الديناميكا الحرارية تجعل مجرد وجود الحياة بأشكالها المختلفة وبوظائفها المتنوعة أمرا غير محتمل، بل وصعب التصور، وذلك لأن هذه القوانين سالفة الذكر تحتم ضرورة تضاؤل قيمة الطاقة تدريجيا بمرور الزمن، بمعنى أن الطاقة الناتجة عن إحراق الوقود لا بد وأن تقل في القدر بمرور الوقت كما في حالة لهب الشمعة.

وتحتم هذه القوانين أن جميع الأنظمة مهما كان نوعها، لا بد أن تتخذ في نهاية الأمر ترتيبا عفويا غير منتظم، بحيث تكون أقرب إلى الفوضى منها إلى النظام، حتى تكون طاقتها أقل ما يمكن.

ولو قارنا هذه المتطلبات التي تتطلبها قوانين الديناميكا الحرارية بما يحدث فعلا في الخلية الحية، لوجدنا هناك اختلافا كبيرا وتعارضا على طول الخط، فعملية البناء والتركيب في الخلية الحية، وبصفة عامة في الكائن الحي، عملية دائمة ولها صفة الاستمرار، فالكائن الحي دائم النمو، ويعني هذا أن هناك ازديادا في الطاقة طول الوقت بدلا من نقصانها. وربما كانت هذه القدرة الفائقة على استخلاص الطاقة من البيئة واستخدامها في عمليات البناء الموجهة والمنتظمة، والتي يمكن أن تتمثل في

نمو الكائن الحي، هي أهم ما يميز الكائن الحي عما حوله من بقية الجوامد والموجودات الأخرى في هذا الكون.

وقد تعددت المحاولات لمعرفة مصادر الطاقة في الخلية، ولمعرفة الأسلوب الذي تستخدمه الخلية الحية للإفادة من هذه الطاقة في أغراضها الحيوية المختلفة، ولم تتناول هذه المحاولات النواحي الكيميائية والطبيعية فقط، ولكنها تناولت كذلك أنظمة الجزيئات المختلفة التي تقوم بهذه العمليات.

وقد أمكن التعرف على كثير من الجزيئات الفعالة والنشيطة التي يمكنها القيام ببعض هذه التحويلات مثل الأنزيمات، كما أمكن معرفة بعض الوسائل والطرق المستخدمة في الكائن الحي لاستخلاص وتصيد الطاقة وتبادلها وتوزيعها في الخلية الحية، مما أنار الطريق كثيرا أمام العلماء لفهم بعض المبادئ والأسس التي تقوم عليها مثل هذه العمليات. وقد بينت الدراسات والتجارب التي أجريت في هذا المجال، أن هناك جزءا خاصا في الخلية الحية تجري فيه جميع عمليات التحويل المختلفة للطاقة، ويظهر هذا الجزء على هيئة جسيمات خلوية صغيرة تعرف باسم «الميتوكوندريا»، وهي تعتبر الآلة الجزيئية المسئولة عن توليد الطاقة في الكائن الحي.

وتبدو الميتوكوندريا تحت الميكروسكوب على هيئة جسيمات صغيرة مستطيلة أو عصوية الشكل، تسبح في السيتوبلازم بجوار نواة الخلية، وهي أصغر في الحجم من النواة، وتوجد في الخلية الحية بأعداد متوسطة وان كانت بعض خلايا الكبد في جسم الإنسان تحتوي على آلاف من هذه الجسيمات التي قد تصل إلى نحو 20٪ من وزن الخلية الواحدة.

وكما تحتاج الشمعة إلى إحراق المادة الهيدروكربونية وهي الشمع للحصول على الطاقة، فإن الكائن الحي يحتاج هو الآخر إلى وقود من نوع ما يستطيع أن يحرقه ليحصل منه على ما يلزمه من الطاقة. ويعتبر الغذاء الذي يتناوله الكائن الحي كل يوم، بما فيه من كربوهيدرات ودهون وبروتينات، هو الوقود الأساسي الذي تستخدمه الخلية الحية.

ويعرف جميع طلاب الكيمياء أن وزنا أو مقدارا ما من أي مركب عضوي يحتوي دائما على قدر ثابت من الطاقة الكامنة فيه، وهو يمسك بهذه الطاقة فيه على هيئة الروابط الكيميائية التي تقع بين ذراته المختلفة، وأن هذه الطاقة تنطلق منه عندما تنحل هذه الروابط أو عندما يتأكسد هذا

المركب أكسدة تامة. وإذا أخذنا سكر الجلوكوز مثالا لمثل هذه المركبات العضوية، لوجدنا أن جزيئه يتركب من ست ذرات من الكربون، وأن الطاقة تكمن فيه خلال الروابط التي تقع بين ذرات الكربون والهيدروجين والأكسجين. ويمكن إطلاق هذه الطاقة من سكر الجلوكوز دفعة واحدة عند إحراقه في الهواء، فيتحول جميع ما بجزيئاته من كربون إلى ثاني أكسيد الكربون، وجميع ما به من هيدروجين إلى جزيئات الماء.

$$\underset{\text{جلوكوز}}{\begin{matrix} CHO \\ | \\ (CHOH)_4 \\ | \\ CH_2OH \end{matrix}} + \underset{\text{اكسجين}}{6O_2} = \underset{\text{ثاني اكسيد كربون}}{6CO_2} + \underset{\text{ماء}}{6H_2O} + \underset{\text{(690000 سعر)}}{\text{طاقة}}$$

ويتبين من هذا المثال أن جزئ السكر يمكن اعتباره جزيئا عالي الطاقة، وذلك لأنه يعطي عند إحراقه قدرا كبيرا من الطاقة في حين تعتبر جزيئات الماء وثاني أكسيد الكربون التي تنتج عن إحراقه، جزيئات فقيرة في الطاقة حيث أنها تتكون في نهاية عمليات الاحتراق، ولا يمكن فك روابطها تحت هذه الظروف.

وتقاس دائما كمية الطاقة المنطلقة في عمليات الاحتراق أو الأكسدة بذلك القدر من الطاقة الذي ينطلق عند إحراق جرام جزئ من المادة. والمقصود بالجرام جزيء هنا هو الوزن الجزيئي للمادة مقدرا بالجرامات. وينطلق من احتراق جرام جزيء من سكر الجلوكوز، وهو ما يساوي 180 جم، قدر كبير من الطاقة يقدر بحوالي 690000 سعر.

وطبقا لقوانين الكيمياء الحرارية، فإن هذا القدر من الطاقة المنطلقة من الجلوكوز يكون ثابتا دائما، أي أننا في كل مرة نحرق فيها نفس هذا القدر من الجلوكوز، أي 180 جم، فإننا نحصل على نفس القدر من الطاقة، أي 690000 سعر.

ولا يعتمد انطلاق هذا القدر من الطاقة على الطريقة التي تتم بها عملية الإحراق، أو عملية أكسدة الجلوكوز، فسواء تمت عملية الأكسدة على خطوة واحدة، أو على عدة خطوات، فإن نفس القدر من الطاقة ينطلق

في الحالتين، بشرط أن يتحول الجلوكوز في نهاية الأمر إلى ثاني أكسيد الكربون والماء. ويعني هذا أنه إذا قامت الخلية الحية بأكسدة الجلوكوز أكسدة تامة إلى ثاني أكسيد الكربون والماء، مهما كانت طبيعة الخطوات التي تتخذها هذه العملية، فإن نفس هذا الوزن الذي ذكرناه، لا بد أن يعطي 690000 سعر، مهما اختلفت نوعية المواد المتوسطة الناتجة أثناء هذا التفاعل، طالما كانت النواتج النهائية هي ثاني أكسيد الكربون والماء.

ولا تستطيع الخلية الحية استخدام هذا القدر الكبير من الطاقة مرة واحدة. ولهذا فهي تفضل إجراء عملية الأكسدة السابقة على خطوات متعددة. وهي تفعل ذلك عادة تحت ظروف خاصة محكمة غاية في الإحكام، تمكنها من استخدام أغلب الطاقة المنطلقة في كل خطوة. ولا يمكن تصور استخدام الخلية الحية للطاقة الناتجة من إحراق الجلوكوز على هيئة حرارة في تحريك العضلات مثلا، وذلك لأن استخدام الحرارة في ذلك يستلزم سريان الحرارة من منطقة ساخنة إلى منطقة باردة، وهو الأساس الذي تعمل به الآلات الحرارية المختلفة، حيث تنخفض درجة حرارة المائع المستخدم، مثل الغاز أو البخار، والمستخدم في تشغيل الآلة، انخفاضا ملحوظا عند مروره من غرفة الاحتراق إلى مخرج العادم.

ولم يكتشف أحد حتى الآن فروقا في الحرارة بين خلية وأخرى في الكائن الحي. وليست هناك فروق كذلك داخل الخلية نفسها، وعلى ذلك فإن استخدام الخلية الحية للطاقة الناتجة عن إحراق الجلوكوز، على هيئة حرارة أمر مستبعد كل الاستبعاد، حيث ليس له سند تجريبي حتى الآن. وإذا كانت الخلية الحية لا تستطيع استخدام الطاقة على هيئة حرارة، فكيف يمكنها إذن أن تحتفظ بهذه الطاقة وتستخدمها في عملياتها الحيوية المختلفة!

من المتعارف عليه اليوم أن الخلية الحية تستطيع أن تقتنص الطاقة الناتجة عن احتراق الغذاء على صورة طاقة كيميائية، فهي تستخدمها في بناء جزيئات تختزن الطاقة وتستطيع أن تساعد على بذل الشغل في ظل نظام ثابت الحرارة، أي أن درجة الحرارة لا تتغير فيه مهما تم التغير من صنف لآخر.

ولكي تقوم الخلية باستغلال الطاقة تحت هذه الظروف، فإنها تتحكم

في عمليات أكسدة الغذاء بمنتهى الدقة، وهي تفعل ذلك على خطوات، مستخدمة في ذلك عوامل مساعدة متنوعة مثل الأنزيمات. وهناك عشرات من الأنزيمات التي تساعد على عمليات الأكسدة في الخلية الحية، ويقوم كل من هذه الأنزيمات بإجراء تفاعل واحد محدد لا يحيد عنه، وينتج عن هذه التفاعلات متسلسلة من الخطوات الكيميائية التي تؤدي في نهاية الأمر إلى تحول الغذاء - وهو الوقود في هذه الحالة - إلى ثاني أكسيد الكربون والماء مع انطلاق قدر معين من الطاقة في كل خطوة.

وتتتابع التفاعلات داخل الخلية الحية بأسلوب محدد، فهي تنقسم إلى مراحل ثلاث. ففي المرحلة الأولى تقوم بعض الأنزيمات بتكسير السكريات والدهون وبعض أجزاء البروتينات إلى وحداتها البسيطة، ثم يتبع ذلك المرحلتان التاليتان اللتان تتأكسد فيهما هذه الوحدات البسيطة بواسطة أنزيمات خاصة، حيث يتحول ما بها من الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون ويتحول ما بها من الهيدروجين إلى الماء.

ولا شك أن أهم نواتج هذه العمليات هي الطاقة المنطلقة في هذه التفاعلات، وليس ثاني أكسيد الكربون والماء. فهذه المواد الأخيرة تعتبر مواد عادمة فقط في هذه التفاعلات، ولا أهمية لها، بل يتم التخلص منها. أما الطاقة الناتجة فإنها تختزن على هيئة روابط كيميائية في بعض الجزيئات ذوات التركيب الخاص، والتي يمكن تسميتها بالجزيئات الخازنة للطاقة، ثم يتم تسليم هذه الطاقة بعد ذلك بأسلوب خاص إلى مختلف نشاطات الخلية الحية.

ويعتبر الجلوكوز كما بينا من أهم مصادر الطاقة في الجسم، وهو ينقسم في هذه التفاعلات إلى جزيئين من حمض عضوي يعرف باسم حمض البيروفيك. وعلى الرغم من أن هذه العملية تبدو على درجة من البساطة، إلا أنها في الحقيقة معقدة إلى حد كبير، فهي تتضمن عددا من التفاعلات المتتابعة التي تعتمد على عشرات من الأنزيمات، ولم يتوصل العلماء إلى معرفة تفاصيلها إلا أخيرا، وبعد بحوث دامت حوالي أربعين عاما.

وتشمل الخطوة الثانية لعملية أكسدة الجلوكوز، تحول حمض البيروفيك إلى حمض عضوي آخر هو حمض اسيتيك الذي يتحد مع حمض ثالث

يعرف باسم حمض اوكزال أسيتيك ليعطي حمض الستريك «حمض الليمونيك»، وهنا نصل إلى دورة أخرى من التفاعلات الكيميائية تعرف باسم «دورة حمض الستريك» أو «دورة كريبس» نسبة إلى مكتشفها العالم البريطاني «سيرهانز كريبس».

ويمكننا هنا أن نقول أن حمض الستريك يدخل في مجموعة من التفاعلات تنتهي بتكوين حمض أوكزال اسيتيك مرة أخرى كي يعود فيدخل في الدورة ثانية، بينما تتم أكسدة ذرات الكربون الموجودة بجزيء حمض اسيتيك إلى ثاني أكسيد الكربون، في حين تحمل ذرات الهيدروجين بواسطة أنزيم خاص كي تتأكسد بعد ذلك بأكسجين الدم الوارد من الرئتين إلى الماء.

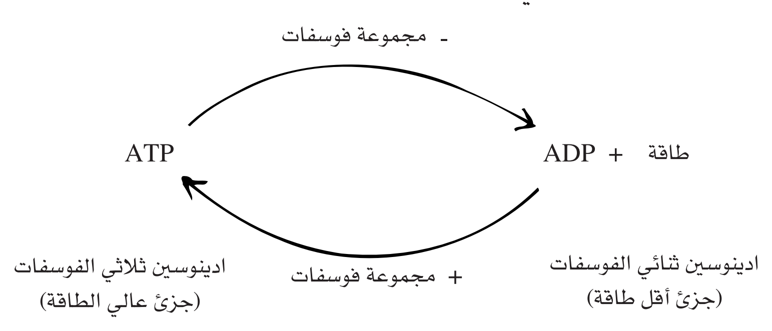
ومن الطبيعي أن عمليات الأكسدة والتفاعلات المتتابعة السالفة الذكر يصحبها انطلاق قدر من الطاقة في كل خطوة، فما الذي يحدث لهذه الطاقة؟ وما مصيرها؟ وكيف يتم اختزانها؟ وكيف تستفيد منها الخلية الحية وتستعملها في عملياتها الحيوية!

لقد قام بعض العلماء بتجربة معملية بسيطة، كان لها الفضل الأكبر في الإجابة على هذه التساؤلات، فقد قاموا بوضع قطع صغيرة من بعض العضلات أو قطع من الكلية على هيئة معلق في محلول من الجلوكوز في درجة حرارة مناسبة، ثم قاموا بإمرار تيار هادئ من غاز الأكسجين في هذا المحلول. وقد لاحظ العلماء الذين قاموا بإجراء هذه التجربة، أن أيونات الفوسفات الموجودة بالمحلول بدأت بعد فترة في الاختفاء، أو بمعنى آخر بدأ تركيزها في المحلول يقل تدريجيا كلما تقدمت عملية أكسدة الجلوكوز بواسطة النسيج الحي.

وقد أمسك العلماء بهذا الخيط، وتتابعت بحوثهم في هذا المجال، وتبين فيما بعد أن أيونات الفوسفات تقوم بالاتحاد مع إحدى القواعد العضوية المحتوية على النتروجين والتي ترتبط بدورها بجزيء من السكر لتعطي مركبا خاصا يسمى «ادينوسين ثلاثي الفوسفات» «Adenosine triphosphate»، ويرمز العلماء إلى مثل هذه المركبات بالأحرف التالية «ATP» وهي الأحرف الأولى لاسمها باللغة الأجنبية كما يرمز إليها علماء الكيمياء بالصيغة الكيميائية التالية:

ادينوسين ثلاثي الفوسفات ATP

وتعتبر الروابط التي تربط بين مجموعة الفوسفات والممثلة بالخط المتموج (~) روابط عالية الطاقة، وهي تستمد طاقتها العالية، أو الطاقة اللازمة لتكوينها من أكسدة الجلوكوز، ويعني هذا أن جزيئات هذه المادة ATP تشبه المركم، أو البطارية المعتادة، فهي تختزن الطاقة الناتجة من أكسدة الغذاء أو الجلوكوز في روابطها الكيميائية، وهي تستطيع أن تطلق هذه الطاقة عند الطلب، فتعطيها مثلا لإحدى العضلات لتحريكها وهي تفعل ذلك عادة عن طريق كسر الرابطة التي تربط إحدى مجموعات الفوسفات الموجودة بها، أي أنها عندما تفقد إحدى مجموعات الفوسفات تعطي الطاقة الناتجة عن كسر الرابطة التي تربطها ببقية الجزيء، إلى ما حولها من جزيئات أو إلى العضلات وما إليها، بينما تتحول هي إلى مركب جديد يحتوي على مجموعتي فوسفات فقط يعرف عادة باسم «ادينوسين ثنائي الفوسفات» ويرمز إليها بالرمز» «ADP. ويمكن إعادة شحن هذه البطارية مرة أخرى، ويحدث ذلك عادة باتحاد مركب ادينوسين ثنائي الفوسفات ADP مع مجموعة فوسفات جديدة لتعطي المركب الأصلي عالي الطاقة، ادينوسين ثلاثي الفوسفات ATP.



ويمكننا أن نلخص عملية استخلاص الطاقة وانتقالها في الخلية الحية على الوجه التالي: يتأكسد سكر الجلوكوز الناتج عن تحلل الغذاء، على عدة خطوات متتابعة، وتستغل الطاقة الناتجة من هذه الأكسدة في تكوين جزيئات عالية الطاقة هي جزيئات ATP وتنتقل هذه الجزيئات التي تشبه البطارية أو المركم من مكان لآخر في الخلية الحية، وهي تفعل ذلك لتعطي الطاقة اللازمة لمن يطلبها، سواء كان ذلك انقباض عضلة ما، أو تخليق جزئ من البروتين، أو أي عملية أخرى من العمليات الحيوية التي تجرى في داخل الخلية الحية.

وعندما تعطى جزيئات ATP بعض طاقتها، تتحول هي إلى جزيئات أقل منها في مستوى الطاقة تسمى ADP، والتي يجري عادة شحنها مرة أخرى إلى جزيئات ATP، باستخدام الطاقة الناتجة عن أكسدة الجلوكوز في الخلية الحية. وتتم عملية تحويل الطاقة السابقة في الخلية الحية بكفاءة عالية، وهي تزيد كثيرا عن كفاءة مثل هذه التحويلات في مختلف الآلات المعروفة.

ويمكننا أن نتصور مقدار هذه الكفاءة إذا علمنا أن كل جزيء من الجلوكوز يعطي عند أكسدته أكسدة كاملة-إلى ثاني أكسيد الكربون والماء-قدرا من الطاقة يكفي لتحويل 38 جزيئا من ADP إلى 38 جزيئا من ثلاثي الفوسفات ATP وذلك عن طريق اتحادها مع ثمان وثلاثين مجموعة من مجموعات الفوسفات.

وقد تبين من الدراسات المختلفة أن تحويل جزئ واحد من ثنائي الفوسفات ADP إلى جزئ من ثلاثي الفوسفات ATP يحتاج إلى قدر من الطاقة يصل إلى حوالي 12000 من السعرات. وينبني على ذلك أن تكوين ثمانية وثلاثين جزيئا من ثلاثي الفوسفاتATP يحتاج إلى قدر من الطاقة يساوي:

38 x 12000 = 456000 سعرا

وبما أن الأكسدة الكاملة لجزئ الجلوكوز تعطي 690000 من السعرات كما سبق أن بينا، فإن هذا يعني أن تكوين ثمانية وثلاثين جزيئا من جزيئات ثلاثي الفوسفات ATP بأكسدة جزئ واحد من الجلوكوز يتسبب في استرجاع نحو 66٪ من الطاقة الكلية الناتجة. ويعني هذا أن الخلية الحية عندما تقوم بأكسدة جزئ واحد من الجلوكوز فإنها تفعل ذلك بعناية كبيرة، وتحاول

أن تقتصد في الطاقة الناتجة ولا تضيعها سدى، وعلى ذلك فهي تحاول أن تستفيد بأكبر قدر ممكن من هذه الطاقة المنطلقة في عملية الأكسدة وهي تستطيع أن تختزن نحو 66٪ منها، وهي نسبة عالية جدا بالقياس بكفاءة بعض الآلات المحركة التي ابتكرها الإنسان، فالآلات التي تعمل بالبخار مثلا لا تستطيع أن تحول أكثر من 30٪ من الطاقة المستخدمة إلى عمل نافع.

ولا شك أن هذا الوفر الهائل في استخدام الطاقة ليدل دلالة قاطعة عل مقدار الكفاءة التي تدير بها الخلية الحية عملياتها المختلفة، وهي إحدى المميزات الهامة التي تنفرد بها الحياة من بين سائر الموجودات. ويحق لنا هنا أن نتساءل عن الكيفية التي تتم بها عملية الأكسدة المتتابعة للجلوكوز، وهل هناك مكان خاص تحدث فيه هذه العمليات أم أنها تحدث في جميع أرجاء الخلية الحية.

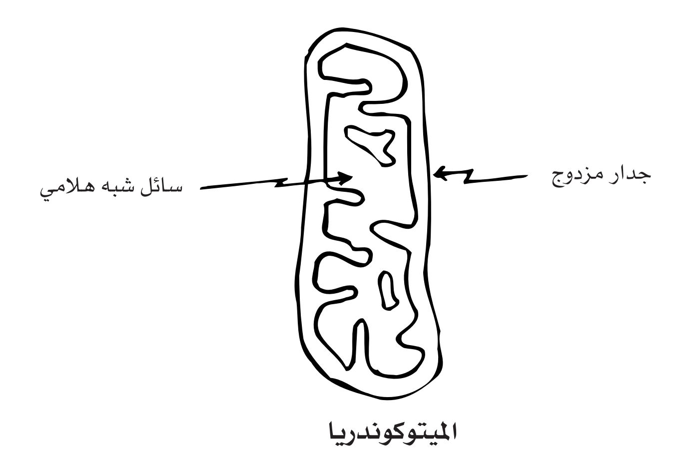
لقد بينت البحوث والدراسات المتعددة التي أجريت في هذا المجال أن عمليات الأكسدة التي نحن بصددها تقع دائما داخل جسيمات خاصة تعرف باسم «الميتوكوندريا»، وأن عددا كبيرا من الأنزيمات تشترك في هذه العمليات. وقد أمكن فصل جسيمات الميتوكوندريا من الخلايا الحية بطرق معملية بسيطة، فيجري تحطيم جدر الخلايا بقوة الطرد المركزي، عند سرعات عالية، ثم تجمع هذه الجسيمات.

وقد تم التحقق من وظيفة جسيمات الميتوكوندريا بتجارب بسيطة كذلك، فقد وضعت هذه الجسيمات مع حمض البيروفيك، ومع بعض المواد الوسيطة الأخرى في دورة حمض الستريك التي تحدثنا عنها من قبل، وضبطت حرارة المحلول عند حد معين كما أمر به تيار هادئ من غاز الأكسجين. وقد لاحظ العلماء الذين قاموا بهذه التجربة، أن جميع التفاعلات التي يمكن توقعها في دورة حمض الستريك، قد تمت تماما، وبنفس الترتيب المعروف، وبمعدل أسرع من المعتاد.

وقد أثبتت هذه التجربة أن الميتوكوندريا هي الجسيمات الخلوية التي تتولى عمليات اختزان الطاقة وإطلاقها في الخلية الحية، وبذلك يمكن اعتبارها محطة القوى الرئيسية في الخلية الحية. وعند رؤية الميتوكوندريا تحت الميكروسكوب الإلكتروني الذي تبلغ قوة تكبيره نحو 240000 مرة،

يتضح أن هذه الجسيمات تختلف كثيرا عما نراه تحت الميكروسكوب العادي، فهي ليست مجرد جسم منتفخ من البروتوبلازم كما تعودنا أن نتصورها، ولكنها تبدو تحت قوة التكبير الهائلة وكأنها خلية صغيرة داخل الخلية الحية. لقد اتضح أن هذه الجسيمات تتكون من جدار رقيق يحيط بفراغ داخلي يحتوي على سائل شبه شفاف مثل الهلام.

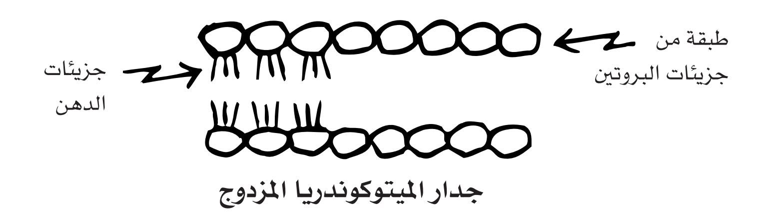
ويتركب جدار الميتوكوندريا في الحقيقة من غشاءين رقيقين يفصل بينهما فراغ صغير، وينثني الغشاء الداخلي ليصنع بروزا داخل جسم الميتوكوندريا في أكثر من مكان على طول الجدار. ولا يزيد سمك كل غشاء من الأغشية المزدوجة لجدار الميتوكوندريا عن 60-70 انجشتروم (الانجشتروم يساوي جزءا من مائة مليون جزء من السنتيمتر)، مما يدل على أن كل غشاء من هذه الأغشية يتكون من طبقة واحدة أو من طبقتين من الجزيئات وهو ما يفسر تلك الرقة المتناهية لهذه الأغشية.



الميتوكوندريا

وقد دلت البحوث الحديثة على أن كل غشاء من هذه الأغشية يتكون في الحقيقة من طبقة واحدة منتظمة من جزيئات البروتين، بينما يتكون الفراغ الفاصل بين كل منهما من طبقة مزدوجة من جزيئات الدهن.

وقد أمكن الاستدلال على هذا التركيب بطرق متعددة، إحداها التحليل الكيميائي لجدار الميتوكوندريا، فقد جاءت نتائج هذه التحاليل متمشية مع هذا التركيب حيث ثبت أن هذه الجدر تتكون من 65٪ بروتين، و35٪ دهنا.



جدار الميتوكوندريا المزدوج

ويذكرنا ترتيب الجزيئات في جدار الميتوكوندريا بترتيب الجزيئات في جدار الخلية الحية بصفة عامة، ونلاحظ أنه في هذه الحالة أيضا، تترتب الجزيئات طبقا لخواصها الطبيعية، فسلاسل البروتين التي تحتوي على مجموعات قطبية، أو مجموعات تحمل شحنا كهربائية، وتعتبر بذلك محبة للماء، تمتد على طول السطح الخارجي في مواجهة الماء المحيط بهذه الجسيمات، كما تمتد على طول السطح الداخلي ملامسة للماء الموجود داخلها، في حين إن السلاسل الهيدروكربونية لجزيئات الدهن، والتي تعتبر كارهة للماء-لأنها تتركب من الكربون والهيدروجين فقط مثل السمع-تبتعد عن الماء، ولذلك فهي تختفي وسط الجدار بين سلسلتي البروتين.

وعلى الرغم من أن هذه الجزيئات المكونة لجدار الميتوكوندريا لها حرية في الحركة إلى حد ما، إلا أن هذا التركيب يعتبر ثابتا إلى حد كبير، ويمكن الإخلال بنظام الجزيئات في هذه الجدر عند تعريضها لبعض الظروف الخاصة، مثل تعريضها للموجات فوق الصوتية، أو تعريضها لفعل بعض المنظفات الصناعية، وعندئذ تفقد هذه الأغشية تماسكها وتتحلل ويخرج المحتوى الهلامي الموجود داخل هذه الجسيمات. وقد استخدمت هذه الطريقة فعلا في فصل السوائل الموجودة داخل جسيمات الميتوكوندريا، وقد تم فصل بقايا هذه الجدر غير الذائبة عن المحتوى الهلامي للجسيمات بقوة الطرد المركزي. وعند تحليل السائل الهلامي للميتوكوندريا اتضح أنه يحتوي على أغلب الأنزيمات التي تلزم لتحقيق دورة حمض الستريك التي تطلق الطاقة.

وقد لوحظ أن الميتوكوندريا قد تغير حجمها من وقت لآخر، فهي قد تنتفخ في بعض الأحيان وتكبر قليلا في الحجم، ويبدو أنها تفعل ذلك بامتصاص بعض الماء من سيتوبلازم الخلية الحية المحيط بها. وعندما يحدث ذلك نجد أن جدار الميتوكوندريا يغير من أبعاده حتى يتمكن من

استيعاب هذا الحجم الجديد من السوائل. ويرتبط هذا التغير في الحجم ارتباطا وثيقا بتركيز مركب ادينوسين الثلاثي الفوسفات ATP، فقد وجد أن جدار الميتوكوندريا ينكمش كثيرا عند زيادة تركيز مركب الطاقة ATP في داخلها، في حين يسترخي هذا الجدار ويتمدد عند نقص تركيز هذا المركب في السوائل الداخلية.

ويبدو من ذلك أن معدل الأكسدة، أو معدل تحول الطاقة في جسيمات الميتوكوندريا، ليس ثابتا على الدوام، ولكنه يعتمد اعتمادا كبيرا على الظروف المحيطة بهذه الجسيمات، فعند زيادة تركيز مركب الطاقة ATP داخل الميتوكوندريا، لا تعود هناك حاجة لتصنيع المزيد من هذا المركب، فتتكمش جدر هذه الجسيمات وتقل في الحجم، فتنخفض بذلك قدرتها على تحويل الطاقة حيث لا لزوم لذلك. وعندما يقل تركيز جزيئات ATP داخل جسيمات الميتوكوندريا نتيجة لسحب بعض منها إلى الخارج، فإن جدر هذه الجسيمات تبدأ في الاسترخاء والتمدد. وبذلك تزداد الميتوكوندريا في الحجم وتكبر، مما يزيد من قدرتها على تحويل الطاقة وعلى تعويض النقص في جزيئات ATP مرة أخرى.

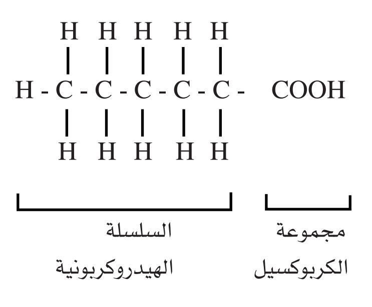
ويتضح من ذلك أن عملية إنتاج الطاقة عملية متوازنة مع الظروف المحيطة بجسيمات الميتوكوندريا، فهذه الجسيمات لا تقوم بتحويل الطاقة بطريقة عشوائية، ولكن قدرتها أو فاعليتها في أداء وظيفتها ترتبط ارتباطا كبيرا بمدى احتياج الخلية الحية للطاقة، وبمدى قدرة هذه الخلية على سحب الكميات المتكونة من جزيئات الاوينوسين الثلاثي الفوسفات ATP.

لقد ركزنا كثيرا فيما سبق على أكسدة الجلوكوز، فهل تستمد الخلية الحية كل طاقتها من أكسدة السكريات فقط، أم أن هناك عناصر أخرى في الغذاء يمكن للخلية أن تستفيد منها في الحصول على الطاقة؟

لا شك أن الدهون تعتبر مصدرا هاما للطاقة بالنسبة للخلية الحية، فهي تعتمد على هذه الدهون في الحصول على جزء كبير من الطاقة التي تحتاج إليها. وتتركب الدهون عادة من نوعين من الجزيئات العضوية، أحدهما ثابت على الدوام ويوجد في جميع الدهون وهو الجليسرين، والثاني منهما متغير من دهن إلى آخر وهو الحمض الدهني، وهذا الجزء من الدهن، وهو الحمض الدهني، هو الجزء الذي تستخدمه الخلية الحية في الحصول

على الطاقة اللازمة لها.

ويتركب الحمض الدهني من سلسلة هيدروكربونية تتكون من عدد من ذرات الكربون يتصل بها عددا آخر من ذرات الهيدروجين. وتماثل هذه السلسلة الهيدروكربونية نفس السلسلة التي توجد بالشموع والتي تعود الإنسان أن يحرقها منذ زمن طويل للحصول على الحرارة والضوء، إلا أنه في هذه الحالة تنتهي هذه السلسلة الهيدروكربونية بمجموعة حمضية تعرف باسم مجموعة الكربوكسيل.



حمض دهني

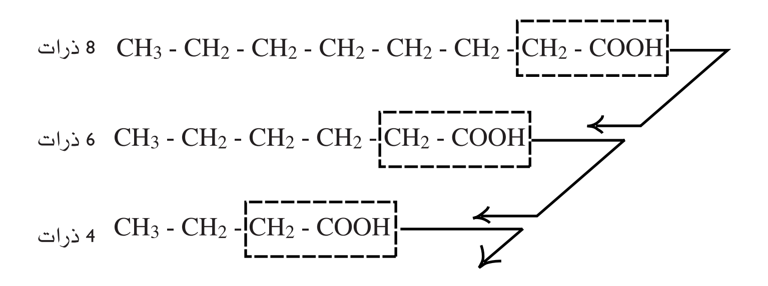
وعندما يتحد الحمض الدهني بالجليسرين، يتكون ما يسمى «بالجليسرين»، وهو الدهن الذي نعرفه والذي يوجد في كثير من الأنسجة النباتية والحيوانية، ويطلق على هذه الدهون عادة اسم عام يتوقف على طبيعتها، فنحن نسميها زيوتا، إن كانت هذه الدهون سائلة في درجة الحرارة العادية، أو نسميها دهونا إن كانت متجمدة أو شبه صلبة في درجة حرارة الغرفة.

وقد تحير العلماء كثيرا في معرفة الطريقة التي يتأكسد بها الحمض الدهني في الخلية الحية أثناء عملية إطلاق الطاقة، وقد اتضح لهم بعد كثير من البحوث والتجارب أن عملية الأكسدة لسلسلة الحمض الدهني تتم دائما على خطوات متناسقة يتم في كل منها استقطاع ذرتين من ذرات الكر بون، بشرط أن تكون إحدى هاتين الذرتين هي تلك الذرة الموجودة في المجموعة الحمضية (مجموعة الكربوكسيل)، بينما تكون الذرة الثانية هي ذرة الكربون المجاورة لهذه المجموعة، في حين تتحول ذرة الكربون التالية لهاتين الذرتين إلى مجموعة كربوكسيل جديدة وبذلك يقل طول السلسلة

الدهنية بمقدار ذرتين.

وتتكرر هذه العملية باستمرار، وفي كل مرة يتكون حمض دهني جديد يقل طول سلسلته عن الحمض الأصلي بمقدار ذرتين من الكربون، حتى ينتهي الأمر بتحول هذا الحمض الدهني إلى ثاني أكسيد الكربون والماء، أو يتحول إلى حمض قصير السلسلة يدخل في بعض التفاعلات الخلوية الأخرى.

ويمكننا تصور هذا التفاعل المتسلسل إذا فرضنا أننا بدأنا بحمض دهني تتكون جزيئاته من ثماني ذرات من الكربون، فإن الخطوة الأولى في عملية الأكسدة تحوله إلى حمض دهني يتركب من ست ذرات من الكربون، ثم تقوم الخطوة الثانية للأكسدة بتحويله إلى حمض دهني يتركب من أربع ذرات من الكربون وهكذا.



أكسدة الأحماض الدهنية

وتتم أكسدة الأحماض الدهنية في الخلية الحية بمساعدة جسيمات الميتوكوندريا التي تحتوي على أنواع من الأنزيمات تستطيع القيام بمثل هذه العمليات بجانب بعض العوامل الأخرى. وربما كان أهمها ذلك العامل الفعال الذي نطلق عليه «مساعد الأنزيم أ». «Coenzyme A»

وتختلف مساعدات الأنزيمات عن الأنزيمات في عديد من النواحي، فمساعدات الأنزيمات ليست من البروتينات، أي لا تتكون من سلاسل ببتيدية، ولكنها تختلف في طبيعتها عن ذلك، وهي تتكون من جزيئات صغيرة نسبيا، أي أنها أصغر بكثير في الحجم عن جزيئات الأنزيمات المعتادة، حتى أنه يمكن القول أن الفرق بين حجم الأنزيم وحجم مساعد

الأنزيم مثل الفرق بين حجم الأرض وحجم القمر. كذلك تختلف مساعدات الأنزيمات عن الأنزيمات في أنها لا تتأثر كثيرا بالحرارة.

وتتخذ عملية أكسدة الحمض الدهني مسارا فريدا في نوعه، فعملية الأكسدة تبدأ في اللحظة التي يرتبط فيها الحمض الدهني بمساعد الأنزيم «أ». وتبلغ قوة هذا الارتباط حدا هائلا حتى أن الحمض الدهني لا يستطيع فكاكا من هذا الارتباط مع مساعد الأنزيم، مما دعا البعض إلى تسميتها «قبلة الموت»، فلا يمكن فك هذا الارتباط فعلا، إلا بعد أن تنتهي عملية الأكسدة الكاملة وتصل !إلى نهايتها. وعندئذ ينفصل مساعد الأنزيم على هيئته الحرة.

ويبدو أن الأمور قد رتبت بهذا الشكل في الخلية الحية ضمانا للحفاظ على الطاقة وتأكيدا لحسن استغلالها على الدوام، وذلك لأن الخلية الحية تستخدم تلك المادة النفيسة المسماة ادينوسين الثلاثي الفوسفات ATP في صنع «مساعد الأنزيم أ». وهي لهذا السبب لا تستطيع أن تسيء استخدامه أو أن تفرط فيه، ولذلك فبمجرد ارتباطه بالحمض الدهني، لا يمكن فك هذا الارتباط إلا بعد انتهاء عمليات الأكسدة المتتابعة، والوصول بها إلى نهاية المشوار. وبذلك تستفيد منه الخلية استفادة كاملة. ولعلنا نرى في هذا مثالا آخرا للتنظيم الفائق وللاقتصاد الهائل في الطاقة الذي تمارسه الكائنات الحية باختلاف أنواعها.

وربما يسأل سائل، ما هي الفائدة التي تجنيها الخلية الحية من أكسدة الأحماض الدهنية، إذا كانت تستهلك في هذه العملية قدرا من الطاقة المختزنة في جزيئات ادينوسين الثلاثي الفوسفات ATP؟

وعلى الرغم من أن هذا صحيح فعلا، إلا أننا يجب ألا نتسرع في الحكم قبل أن نقارن كمية الطاقة المستخدمة في عملية الأكسدة بكمية الطاقة الناتجة منها. وقد اتضح أنه إذا استخدم جزيء واحد من جزيئات ادينوسين الثلاثي الفوسفات ATP لبدء هذه التفاعلات، فإن الطاقة الناتجة عن تفاعلات الأكسدة المذكورة تعطي قدرا من الطاقة يستطيع أن يكون مائة جزئ من جزيئات ATP في نهاية المشوار.

ويعني هذا أن الخلية الحية إذا أنفقت قرشا واحدا لبدء تفاعل الأكسدة، فإنها تحصل على مائة قرش في نهاية هذه السلسلة من التفاعلات، ويبدو

لنا على الفور، أن هذه العملية مجزية تمام الجزاء من ناحية الطاقة، بالنسبة للخلية الحية. وعلى الرغم من أن جميع البحوث التي أجريت في هذا المجال، كان هدفها الأصلي معرفة الوسيلة التي تستخدمها الخلية الحية في أكسدة الدهون، والحصول على الطاقة منها، إلا أن هذه البحوث قد أفادت كثيرا في معرفة التفاعل العكسي الذي تستخدمه الخلية لتبني به السلاسل الطويلة للأحماض الدهنية في الجسم. كذلك ألقت هذه البحوث والتجارب كثيرا من الضوء على الطريقة التي تبنى بها بعض الستيرويدات في الجسم، مثل الكولسترول وغيره من المواد.

ويبدو أن الخلية الحية تتبع أسلوبا موحدا في جميع هذه العمليات فهي تبنى سلاسل الحمض الدهني بتركيب ذرات الكربون واحدة وراء الأخرى على هيئة سلسلة منبسطة، تماما مثل ترتيب حبات الخرز في العقد. أما في حالة المركبات الحلقية مثل الكولسترول، فيبدو أن بعض هذه السلاسل تكتسب فروعا جانبية في أول الأمر، ثم ترتبط هذه الفروع بعضها مع بعض لتكوين حلقات.

. وقد ساعدت هذه البحوث كذلك على فهم بعض ما يحدث لمرضى السكر الذين لا يستطيعون أكسدة الدهون أكسدة كاملة، كما أن أجسادهم لا تستطيع الاحتفاظ بهذه الدهون في أنسجتها إلا بقدر ضئيل جدا. ويساعد حقن الأنسولين في أجسام هؤلاء المرضى على استكمال أكسدة الأحماض الدهنية، كما يزيد من قدرة الجسم على تخليق الدهن وترسيبه في الأنسجة المختلفة.

ويتضح مما سبق أن محطات القوى المنتشرة في جميع الخلايا الحية، والتي تسمى الميتوكوندريا هي المسئولة الأولى والأخيرة في الخلية عن المحافظة على مستوى ثابت للطاقة وهي تفعل ذلك على الدوام بكفاءة نادرة. وهي سمة من سمات الخلية الحية التي تستطيع أن تجري كل عملياتها الحيوية بدقة متناهية وبكفاءة عالية.

ومن الطريف أن عمليات إنتاج الطاقة والاحتفاظ بها عمليات غير مركزية، بل هي عمليات محلية إلى حد كبير، فكل خلية من الخلايا الحية في جسد الكائن الحي، تمتلك محطات القوى الخاصة بها، والسبب في ذلك يبدو واضحا، حيث أنه يلزم توفر الطاقة في نفس الموقع الذي يتطلب

استخدامها. وبذلك لا يفقد من هذه الطاقة شيئا ما أثناء انتقالها.

ويقدر بعض العلماء أن الخلية الحية المعتادة تحتاج إلى قدر كبير من الطاقة يحمله حوالي مليونين من جزيئات ادينوسين الثلاثي الفوسفات ATP في الثانية الواحدة كي تدفع التفاعلات الكيميائية التي تدور بها، وكي تقوم بكل عملياتها الحيوية. ولا شك أن الاحتياج إلى محطات القوى أو الميتوكوندريا، وما تنتجه من جزيئات الطاقة ATP يزداد كثيرا في حالة الخلايا التي تقوم بالحركة، فإن مثل هذه الخلايا تحتاج إلى قدر هائل من الطاقة يتناسب مع ما تقوم به من عمل، ونجد أن هذا صحيح حقا بالنسبة لخلايا عضلات أجنحة الطيور مثلا، أو خلايا قاعدة ذيل الحيوان المنوي الذي يتحرك بصفة مستديمة.

17 نظام الدفاع والأمن في الكائن الحي

لكل دولة متقدمة نظام خاص للدفاع عن أمنها الداخلي وعن حدودها الخارجية المحيطة بأرضها. وتقوم الدول عادة بتخصيص مجموعة من أبنائها على هيئة قوات الشرطة للدفاع عن أمنها الداخلي، كما تقوم هذه الدول كذلك بتدريب مجموعات أخرى من أبنائها على هيئة قوات خاصة أخرى تعرف بالجيوش. وهي تسلح هذه المجموعات بجميع الأسلحة التي تساعدها على منع العدوان على حدودها، وتعطيها القدرة على القضاء على أي دخيل يحاول التسلل إلى أراضيها.

وكما سبق أن رأينا فإن جسد الكائن الحي الذي يتكون من ملايين الخلايا، يشبه هو الآخر دولة هائلة الحجم، مترامية الأطراف، بالغة الضخامة، ولا بد أن يكون لمثل هذه الدولة الشاسعة الفائقة النظام، نوع ما من نظم الدفاع والأمن، يستطيع أن يوفر الحماية اللازمة لبقية فئات هذا المجتمع الهائل من الخلايا المتخصصة، حتى تستطيع أن تقوم بواجبها على الوجه الأكمل فتقاوم الدخيل وتقضي على المتسلل.

وربما كان أفضل وأرقى أنواع أنظمة الدفاع والأمن ما يوجد منها في جسم الإنسان، ويستخدم هذا النظام أنواعا متخصصة من الخلايا تعرف باسم الأجسام المضادة، وتقوم هذه الأجسام بمهاجمة أي دخيل تسول له نفسه التسلل إلى جسد الكائن الحي، وهي بذلك تقوم بمهام الجيوش.

ومن أكثر الأشياء إثارة للدهشة، أن هذه الأجسام المضادة، لا تهاجم خلايا الكائن الحي الذي يفرزها أبدا، وهي لا تقرب منها، وتستطيع في أي لحظة أن تميز بين الأصيل والدخيل، فكيف يمكنها أن تفعل ذلك؟... ومتى حصلت على هذا النوع من التدريب؟.

لقد تحير العلماء زمنا طويلا في تفسير هذه الظاهرة، وعجزوا عن فهمها حتى وقت قريب، وأخيرا، وبعد أن تقدمت فروع العلم المعنية بدراسة الخلايا الحية ومكوناتها، استطاع العلم أن يدرك الكيفية التي تعمل بها نظم الأمن والدفاع داخل جسد الكائن الحي.

ويبدو أن كلا منا يختلف عن الآخر اختلافا كبيرا، ولا يقع هذا الاختلاف في الطباع أو في الأخلاق، أو في العادات أو المثل العليا مثلا، ولكن ما نقصده هنا هو ذلك الاختلاف الذي يتعلق ببعض تفاصيل البناء الداخلي للجسد الحي. ونحن لا نقصد كذلك الاختلاف في الشكل، ولكننا نعني ذلك الاختلاف المتعلق بتركيبنا الكيميائي، وهو الذي يحدد في نهاية الأمر جميع الخواص والصفات.

لقد تبين أن لكل كائن منا علامات كيميائية خاصة به فقط، وهذه العلامات تعتبر مميزة لخلاياه، ومميزة له في نهاية الأمر، وهي لا تتكرر في أي كائن آخر من بقية الكائنات الحية، مثلها في ذلك مثل بصمات الأصابع التي تميز كل فرد عن الآخر. وقد أجريت إحدى التجارب على بعض أنواع الإسفنج، وقد ساعدت هذه التجربة على إيضاح هذه الحقيقة، وبينت بما لا يقبل الشك أن كل كائن حي يختلف تمام الاختلاف عن غيره في شيء ما، حتى وإن كانا من نفس الجنس أو نفس الفصيلة.

ويعتبر الإسفنج من أبسط أنواع الكائنات الحية المتعددة الخلايا، بل قد ينظر إليه أحيانا على أنه يشبه مستعمرة تتكون من آلاف من الخلايا المفردة. وقد أخذ العلماء الذين قاموا بهذه التجربة قطعة من الإسفنج الأبيض، وقاموا بتفكيك خلاياها تحت الماء بحيث انفصلت كل خلية عن

الأخرى، وتحولت قطعة الإسفنج التي بدءوا بها إلى معلق من الخلايا المفردة في الماء.

وقد قام العلماء بمراقبة هذه الخلايا الإسفنجية تحت الميكروسكوب في صبر وأناة ولاحظوا أنه إذا اقتربت إحدى الخلايا الإسفنجية من خلية أخرى، فإنها لا تلتحم بها مباشرة، ولكنها تتلامس معها أولا، ثم تدور حولها تتحسس سطحها، وكأنها تشمها، أو كأنها تحاول العثور على علامة خاصة تستطيع أن تميز بها هذه الخلية وتتعرف عليها منها، وبعد انقضاء فترة وجيزة من هذا التلامس والمحاورة، يبدو أن التعارف قد تم بين هاتين الخليتين، وبمجرد حدوث هذا التعارف يتم الارتباط بينهما على الفور، وتلتحمان معا، وتتحولان إلى كائن حي ذي خليتين.

وما هي إلا لحظات، حتى تقترب خلية ثالثة من هذا الكائن الجديد ذي الخليتين، وتبدأ عملية التعارف والتلامس السالفة الذكر. وعندما تتأكد هذه الخلية الثالثة، أنها عثرت على كائن مماثل لها، تلتحم مع هاتين الخليتين مكونة كائنا جديدا من ثلاثة من هذه الخلايا. وتتوالى عمليات التلامس والتعرف بين هذا الكائن الجديد وبين خلية رابعة، ثم خامسة وهكذا.... وفي كل مرة تتم فيها عملية التعارف بنجاح، يحدث الاتصال أو الارتباط بين هذا الكائن وبين خلية جديدة، حتى يتحول معلق الخلايا الإسفنجية المفردة في نهاية الأمر إلى قطعة واحدة متصلة من الإسفنج.

ولم يصدق من رأوا هذه التجربة ما شاهدوه في أول الأمر، فقد كان، فعلا، شيئا يفوق كل خيال. ولا ثبات أن عملية التعرف بين الخلايا شيء حقيقي، وليست ضربا من ضروب الخيال، قام العلماء الذين أجروا التجربة السابقة، بإجراء تجربة أخرى مماثلة، قطعت الشك باليقين.

لقد قام هؤلاء العلماء بمزج نوعين من أنواع الإسفنج، أحدهما من النوع الأبيض، وثانيهما من النوع الأحمر، ثم قاموا بتفكيك خلايا هذين النوعين معا في الماء، وراحوا يراقبون ما يحدث بينهما تحت الميكروسكوب. وقد لوحظ أن الخلية الحمراء تدور حول الخلية البيضاء، ثم تتلامس معها، وتتحسس سطحها، وتفحصه في صبر عجيب، وكأنها تبحث عن علاقة معينة على هذا السطح، ولكنها تيئس في نهاية الأمر، عندما تعرف بوسيلة ما أن هذه الخلية البيضاء ليست من بنات جنسها، بل هي تختلف عنها في

النوع، ولهذا فهي لا تلتحم معها، بل تتركها في هدوء لتسبح بعيدا عنها بحثا عن خلية أخرى تستطيع أن تتعرف عليها.

وعندما تصادف الخلية الحمراء خلية حمراء أخرى، فإنها تتلامس معها كذلك، وتتحسس سطحها بنفس الأسلوب السابق، وسرعان ما تتعرف عليها، وتدرك أنها من بنات جنسها فتلتحم معها مكونة كائنا جديدا ذا خليتين حمراوين. ومن المدهش أن هذه العملية التي يمكن أن نسميها بعملية التعارف بين الخلايا، تتم بدقة فائقة، ولا يصيبها الخطأ أبدا في أي مرة من المرات فلا تلتحم الخلية البيضاء مع خلية حمراء، ولا ترتبط خلية بيضاء بخلية حمراء، وينتهي الأمر بالمزيج السابق لمعلق الخلايا الإسفنجية الحمراء والبيضاء، إلى تكوين قطعتين من الإسفنج، أحدهما من الإسفنج الأبيض مائة في المائة، والأخرى من الإسفنج الأحمر مائة في المائة.

وقد أثارت هذه التجارب دهشة العلماء إلى حد كبير ولكنها استثارت فيهم الرغبة في استجلاء أسرار عملية التعارف السابقة، ودفعتهم إلى البحث عن الطريقة التي تستطيع بها تلك الخلايا أن تميز نفسها عن غيرها. وقد اتضح من مختلف الدراسات التي أجريت في هذا المجال، أن كل خلية من خلايا الكائن الحي الواحد، تحمل علامة خاصة بها ومميزة لها، وأن هذه العلامة تبقى ثابتة على الدوام مثل البطاقة الشخصية، فهي لا تتغير من خلية إلى أخرى، بل توجد دائما في جميع خلايا الكائن الحي الواحد.

وقد اتضح فيما بعد أن هذه العلامة المميزة ما هي إلا جزئ من البروتين من نوع خاص يرتبط بجدار الخلية الحية، ويطل من سطحها، في وضع خاص. وعلى هذا فإن تركيب هذا البروتين، وشكله الفراغي، أو هيئته العامة، أو الطريقة التي يلتوي بها حول نفسه فوق السطح الخارجي لجدار الخلية، يمثل العلامة المميزة لهذه الخلايا، أو «الماركة المسجلة» لخلايا الكائن الحي الواحد، والتي يمكن عن طريقها أن تقوم هذه الخلايا بتمييز نفسها من غيرها.

ويبدو أن جزيئات التعرف هذه، أو ما يمكن أن نطلق عليه «علامات التعرف الجزيئية» «Molecular Markers» كثيرة الانتشار ني دنيا الخلايا الحية،

فنحن نجدها في كل مكان في الكائن الحي. فمثلا الهرمونات التي تتحكم في كثير من العمليات الحيوية للجسم، مثل التحكم في ضربات القلب، أو الشعور بالجوع، وغير ذلك، تتعرف على أهدافها عن طريق هذه العلامات الجزيئية السالفة الذكر، فالهرمون كما رأينا سابقا، يطلق في الدم، ويسري مع تياره إلى جميع أجزاء الجسم وخلاياه دون استثناء، ولكنه لا يؤثر إلا في مجموعة خاصة من الخلايا فقط، وهو يفعل ذلك على ما نعتقد بعد أن يتعرف على هذه الخلايا من بعض العلامات الجزيئية الخاصة بها، والتي تتناسب مع نوعه، ومع وظيفته.

كذلك فان مثل هذه العلامات الجزيئية توجد في خلايا الدم، وهي التي تميز نوعا من الدم عن النوع الأخر، وهي التي تجعلنا نصنف هذه الأنواع في فصائل خاصة نرمز لها ببعض الرموز مثل (أ A) أو (ب B) أو (أ ب AB) أو (و O).

وعلى هذا الأساس، فإن عمليات التلامس التي كانت تقوم بها خلايا الإسفنج كان الغرض منها في الحقيقة، هو البحث عن هذه العلامات الجزيئية للتعرف على الخلايا التي من نوعها وللتمييز بينها وبين غيرها من الخلايا. وتعتبر هذه العلامات الجزيئية، أو جزيئات التعرف، أهم عناصر نظام الدفاع والأمن في جسد الكائن الحي، فهذه العلامات على درجة قصوى من الأهمية، ولا بد لكل كائن حي أن يمتلك وسيلة ما للتعرف على خلاياه، وللتفرقة بينها وبين الخلايا الأخرى وإلا دمر هذا الكائن نفسه بنفسه أثناء عملية الدفاع عن كيانه.

ويمكننا أن نتصور أن هذه العلامات الجزيئية ما هي إلا البطاقة الشخصية أو الهوية التي تحملها خلايا الكائن الحي، أو قل ما هي إلا رمز لجنسية هذه الخلايا. فكما يحمل أفراد الدولة الواحدة نفس الجنسية، بذلك الخلايا الحية، لا بد أن تحمل كل منها ما يدل على شخصيتها وجنسيتها، ويفيد انتسابها إلى الكائن الحي الذي تكون جزءا منه.

ويستخدم نظام الدفاع والأمن في جسد الكائن الحي أجساما مضادة على درجة عالية من التخصص، وتقوم هذه الأجسام بالتجوال في مسالك الجسم ودروبه، وتقوم أثناء هذا التجوال بالتفتيش على خلايا الجسم والتعرف عليها بالطريقة السالفة الذكر، فهي تتحسس الخلايا واحدة واحدة،

فإذا وجدتها مطابقة لها، أي إذا وجدت علاماتها الجزيئية مثل علاماتها، قالت «هذه أنا» وتركتها لحالها، وإذا وجدت إحدى الخلايا ذات علامات جزيئية تختلف عن العلامات التي تألفها، قالت «هذه ليست أنا»، بل هذه دخيلة علينا، ويجب القضاء عليها في الحال، فتقوم بمهاجمة هذه الخلية على الفور، وتقضي عليها وتبيدها.

وهكذا نجد أن هذه الأجسام المضادة التي يطلقها الجسم في دوريات منتظمة تجوب كل مكان فيه، تستطيع أن تكتشف كل الدخلاء والمتسللين مثل البكتريا وما شابهها، عن طريق قراءة العلامات الجزيئية لكل ما يصادفها من خلايا. ولعل هذا السلوك الدقيق الذي لا تحيد عنه تلك الأجسام المضادة، أو تلك الدقة البالغة التي تقرأ بها العلامات الجزيئية لخلايا الجسم، هي إحدى المعوقات الرئيسية لعملية زرع الأنسجة في الأجسام التي يكثر الحديث عنها في هذه الأيام، وربما كان السبب في رفض الجسم للنسيج الدخيل بعد إجراء الجراحة بعدة أيام، يرجع إلى اختلاف تلك العلامات الجزيئية في هذا النسيج المزروع عن العلامات الجزيئية لخلايا الجسم الأصلي.

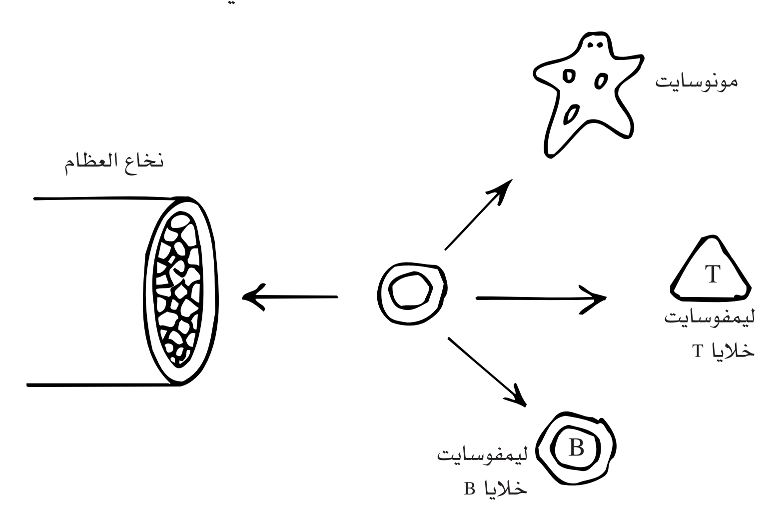
وهناك أنواع متعددة من الأجسام المضادة التي يقوم الجسم بتصنيعها بين حين وآخر، وفي بعض الأحيان نجد أن كل نوع من هذه الأجسام يتخصص في التعرف على دخيل ما والقضاء عليه. ويعتبر نخاع العظام في جسم الإنسان بمثابة القيادة العامة للدفاع والأمن في الجسم، ففي هذا النخاع، تنتج أنواع خاصة من الخلايا تعتبر هي الأصل في تكوين الأجسام المضادة التي يحتاجها الجسم.

وتتحول هذه الخلايا بعد تكوينها إلى ثلاثة أنواع من الخلايا المتخصصة: النوع الأول منها يتحول في نهاية الأمر إلى خلايا من نوع خاص يعرف باسم «مونوسايت» وهي تكون القوة الضاربة الرئيسية بين قوات الدفاع في الجسم. وتعطي هذه الخلايا كذلك نوعا ثانيا من الخلايا تعرف باسم ليمفوسايت» أو «الخلايا الليمفاوية»، وهي خلايا ليمفاوية يطلق عليها أحيانا اسم رمزي فتسمى كذلك خلايا «T»، وهي تمثل سلاح الإشارة في الجيوش الحديثة، إذ تطلق إشارات الإنذار بوجود الدخيل في الجسم. أما النوع الثالث من هذه الخلايا، فهو يتحول في نهاية الأمر إلى خلايا ليمفاوية

متخصصة، يطلق عليها كذلك اسم رمزي، فتسمى خلايا «B» وهذه الخلايا تقوم مقام سلاح الإمداد والتموين في الجيوش الحديثة، فمنها تنطلق أعداد هائلة من الأجسام المضادة تكتسح كل ما يصادفها من الخلايا الدخيلة.

وتكون هذه الأنواع الثلاثة من الخلايا فيما بينها، جيشا هائلا يعمل في تناسق وانسجام، تماما كما تفعل أسلحة الجيوش الحديثة، وهي تستطيع التعرف على الدخلاء والمتسللين بدقة بالغة، ثم تقوم بعد ذلك بتدميرها بكل سرعة وقوة.

ويمكن تصور المعركة الهائلة التي قد تنشب داخل الجسم، عند دخول أحد المتسللين أو أحد الدخلاء فيه على الوجه التالي:



قد تدخل البكتريا إلى الجسم عن طريق بعض الجروح، أو عن طريق الأمعاء. وهي عندما تفعل ذلك، تبدأ في الانقسام بسرعة هائلة، وتتكاثر في العدد بشكل خيالي وتبدأ في الانتشار فيما حولها من أنسجة.

وعندما تتقابل خلايا البكتريا الدخيلة مع خلايا «المونوسايت» تبدأ هذه الخلايا الأخيرة في النشاط. ولا يعرف حتى الآن، ما الذي يستثير هذه الخلايا وينشطها، ولكنها تبدأ في التحول إلى خلايا أكبر في الحجم قليلا تعرف باسم «ماكروفاج» أو «الخلايا الملتهمة». وهذه الخلايا الأخيرة تتميز بشراهتها الفائقة، فهي تستطيع أن تلتهم كل ما يصادفها، وتحوي بداخلها

أنواعا مختلفة من الأنزيمات المحللة، وبذلك تقف مستعدة للدخول في أي معركة.

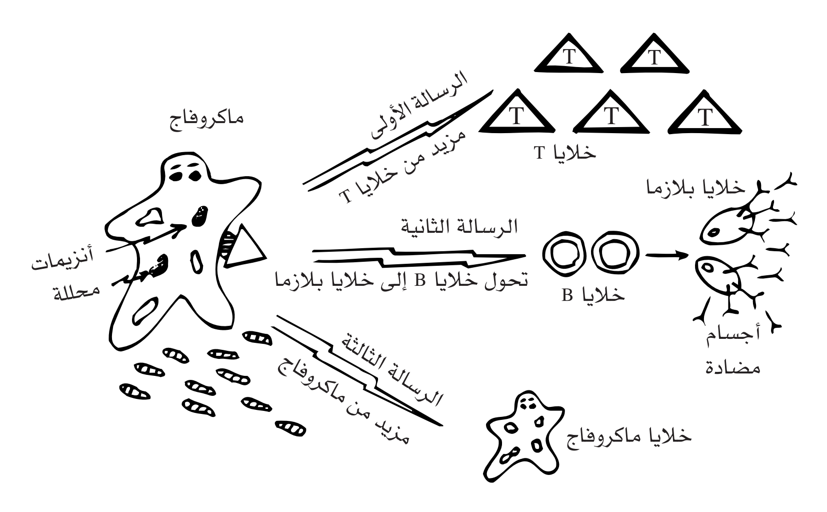
ويقوم النوع الثاني من الخلايا وهو النوع المعروف باسم خلايا «T» بدور غريب في هذه المعركة، ولكنه دور هام جدا، ويبدو أن مهمتها الأساسية هي التعرف على الخلايا الدخيلة، وإخطار الجهات المسئولة عن نوعها، فتقوم هذه الخلايا بالالتصاق بجدران خلايا البكتريا الدخيلة وتتحسس هذه الجدران وكأنها تبحث عن العلامات الجزيئية لهذه الخلايا البكتيرية. وعندما تعرف أنها خلايا دخيلة تسحبها معها، وتلتصق بها على جدران خلايا الماكروفاج، وكأنها بذلك تنقل بصمة هذه الخلايا الدخيلة أو علاماتها الجزيئية إلى خلايا الماكروفاج.

وينتج عن هذا اللقاء بين خلايا «T» وبين كل من خلايا البكتريا والماكروفاج شيء غريب، فتنشط خلايا «T» بطريقة خاصة، وكأنها أحست بالخطر وبوجود الأجسام المعادية داخل جسد الكائن الحي، وتبدأ في إرسال ثلاث رسائل أو إشارات، يسمع صداها في جميع أرجاء جسم الكائن الحي.

وتحمل الرسالة الأولى الأوامر والتعليمات الخاصة بتنشيط عملية تكوين خلايا «T» نفسها، حتى يمكن لها إرسال المزيد من الإشارات وإبلاغ الرسالة إلى كل مكان. أما الرسالة الثانية، فهي تؤدي إلى تنشيط عملية تكوين خلايا الماكروفاج الشرهة، فتبدأ أعداد هائلة منها في التكون، وتعتبر هذه الرسالة كذلك بمثابة استدعاء لها إلى مكان المعركة.

أما الرسالة الثالثة، فهي تدفع الخلايا الليمفاوية المعروفة باسم خلايا «B» إلى التحول إلى نوع خاص من الخلايا يعرف باسم خلايا البلازما، وهذه الخلايا الأخيرة لها القدرة على إنتاج كميات هائلة من الأجسام المضادة، وهي عبارة عن جزيئات من البروتين من نوع خاص وتشبه حرف «Y» في اللغة الأجنبية.

وهكذا نجد أن الاستعداد للمعركة قد تم في الحال، فقد تكونت أعداد غفيرة من خلايا «T» التي تطلق الإنذار، وتحولت خلايا «B» إلى خلايا البلازما التي تفرز الأجسام المضادة وهي سلاح المعركة البتار، كلما تكونت كميات هائلة من خلايا الماكروفاج التي لا تبقي ولا تذر، والتي لها القدرة على التهام البكتريا وتحليلها.



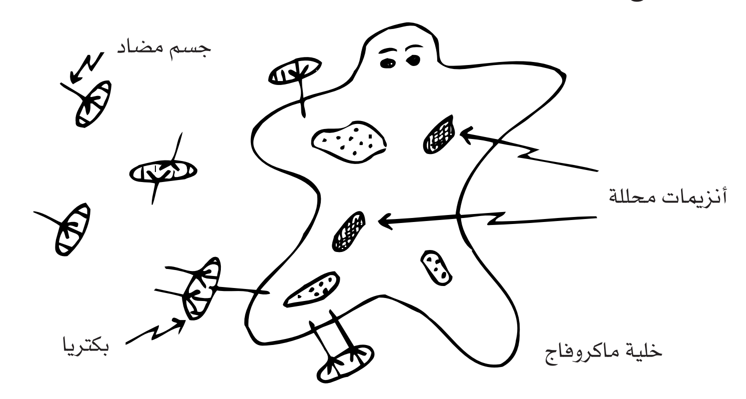
ومن المعتقد أن المعركة الحقيقية تبدأ بمجرد تكون خلايا البلازما، فإن هذه الخلايا تبدأ في إنتاج الأجسام المضادة على نطاق واسع، وهي تفعل ذلك بسرعة تفوق سرعة تكاثر البكتريا، وهي تدخل معها في سباق تكسبه هي في نهاية الأمر عندما تتمكن من إنتاج أعداد هائلة منها تزيد على خلايا البكتريا الدخيلة.

وتقوم هذه الأجسام المضادة، وهي جزيئات من البروتين ذات شكل خاص، بمطاردة خلايا البكتريا في مكان الإصابة، وهي تمسك بخلايا البكتريا بواسطة طرفيها المتباعدين مثلما يفعل الملقط، فلا تستطيع منها فكاكا، ثم تحملها إلى خلايا المكروفاج الشرهة، وهناك يرتبط الجسم المضاد بطرفه المفرد بجدار خلية الماكروفاج، بينما يحمل خلية البكتريا بين فكيه.

وهنا تبدأ خلية الماكروفاج في التهام الخلية الدخيلة، وتمتصها في داخلها، وهناك يتم تحليل خلية البكتريا بواسطة الانزيمات المحللة التي تمتلىء بها خلية الماكروفاج، وتتحول بذلك خلية البكتريا الضارة الى مركبات أو جزيئات صغيرة غير ضارة، ويجري التخلص منها بعد ذلك بالطريقة المعتادة عن طريق الدم.

وقد تدور هذه المعارك الضارية في داخلنا دون أن نحس بها على الإطلاق، فهي تجري في أجسادنا عادة في صمت تام، ولكن نظام الدفاع

في الجسد قد يفشل في بعض الأحيان، وحينئذ نحس بشيء من التوعك، وقد ترتفع درجة حرارتنا إلى غير ذلك من أعراض المرض.



وحتى عندما يفشل نظام الدفاع والأمن في الجسم، ويحتاج إلى بعض المساعدة من خارج الجسم، ويتم ذلك عادة عن طريق تناول بعض العقاقير أو بعض المضادات الحيوية، فإن ذكرى هذه المعركة يبقى عالقا بالجسم بطريقة ما، حتى إذا ما عاود نفس المرض الظهور مرة أخرى، فإن جهاز الدفاع يبدأ عملية المقاومة في الحال، وقد استفاد كثيرا من خبرته السابقة، وذلك لأن المعركة في هذه المرة تدور بطريقة أسرع وأفضل مما سبق، ولا تظهر أعراض المرض هذه المرة على الجسد، ويقال حينئذ إننا قد اكتسبنا مناعة ضد هذا النوع من المرض.

وهناك أنواع أخرى من الأمراض لا يستطيع نظام الأمن والدفاع السابق أن يتصدى لها أو يقاومها. ومن أمثلة هذه الأمراض مرض السرطان الذي حار العلماء في أمره منذ زمن ولا يزالون حتى الآن. ويمكن لهذا المرض أن يبدأ في أي خلية من خلايا الجسم. فكل خلية من آلاف ملايين الخلايا التي توجد في الجسم قد تتعرض لهذا المرض العضال. وقد ينشأ هذا المرض بسبب وجود بعض الجزيئات الكيميائية ذات التركيب الخاص، أو بسبب التعرض لبعض الإشعاعات، أو بسبب الإصابة ببعض الفيروسات. كذلك قد ينشأ هذا المرض عن خطأ ما في إحدى الرسائل الوراثية أو الجينات. وقد لا يهاجم هذا المرض الجسم على الإطلاق، وقد يفعل ذلك. ولكننا على الأغلب لا نعرف وجوده إلا عندما يبدأ هجومه الساحق على

جسد الكائن الحي.

وتبدأ الخلية المصابة في الانقسام العشوائي دون رابط، وهي تتكاثر بسرعة هائلة، ولا يستطيع نظام الدفاع والأمن المعتاد أن يتدخل في هذه الحالة. ويبدو أن السبب في ذلك أن الخلايا السرطانية تحمل هي الأخرى نفس العلامات الجزيئية التي تحملها بقية خلايا الجسم، ولهذا السبب يصعب على الأجسام المضادة أن تميز بينها وبين الخلايا الطبيعية الأخرى غير المصابة، وبذلك لا تسارع إلى تدميرها.

خاتمه

يتبين مما سبق أن الخلية هي الوحدة الأساسية في بناء كل كائن حي. وتشبه كل خلية من هذه الخلايا معملا كيميائيا فريدا في نوعه، تتم فيه مئات من التفاعلات الكيميائية المعقدة التي تكرر نفسها على الدوام، وتتكون فيه مئات من أصناف الجزيئات الكيميائية التي يخدم كل منها غرضا معينا لا يحيد عنه.

ولا تتشابه كل الخلايا في جسد الكائن الحي، بل إن كثيرا منها له لغته الكيميائية الخاصة التي يتعامل بها، مما يؤدي في نهاية الأمر إلى تخصص هذه الخلايا وقيامها بوظيفة محددة في جسد الكائن الحي. والخلية هي أصغر الوحدات في هذا الكون التي تعطينا مظاهر الحياة، ورغم ذلك فنحن لا نعرف شيئا عن الحياة نفسها.

وعلى الرغم من أن كل خلية من خلايا جسد الكائن الحي تحمل في نواتها نفس العوامل الوراثية التي تحمل بين طياتها نفس الأوامر والتعليمات التي توجد بكل الخلايا الأخرى، إلا أننا نجد أن أجزاء كبيرة من هذه الرسائل تبقى معطلة في كل خلية. ولا تعمل كل خلية من هذه الخلايا إلا بقدر محدود من هذه الرسائل يتناسب مع الوظيفة التي تخصصت فيها. ويعني ذلك أن كل خلايا جسد الكائن الحي لديها نفس كتاب الأوامر والتعليمات مكتوبا بنفس اللغة الكيميائية المتعارف عليها فيما بينها، إلا أن كل خلية فيها لا تقرأ إلا صفحة واحدة

من هذا الكتاب وتعمل بما جاء فيها فقط، دون أن تلقي بالا إلى بقية صفحات هذا الكتاب.

ويمكن تشبيه جسد الكائن الحي في أرقى صوره-كما في الإنسان- بالمجتمع البشري الذي يتكون من ملايين من الأفراد، وبالرغم من تشابه أفراد هذا المجتمع في كثير من الصفات، إلا أن كلا منهم يؤدي وظيفة بعينها تتناسب مع ما أهل له ودرب عليه. ويتساءل كثير من العلماء عن الهدف الحقيقي من وجود مثل هذا النظام الفريد، المسمى بالحياة، والذي يختلف كل الاختلاف عن غيره من الموجودات في هذا الكون.

ويرى بعض هؤلاء العلماء أن الهدف الأصلي من وجود مثل هذا النظام المحكم قد يكون متعلقا بتكرار النوع والحفاظ على الجنس. وهم يرون أن الطبيعة، وهي كلمة غامضة لا معنى لها، تستمر في تعضيد هذا النظام طالما كان قادرا على التناسل وعلى الحفاظ على النوع، وأنها تكف يدها عن مساندة هذا النظام، وتقل حاجتها إلى الكائن الحي بمجرد انتهاء قدرته على تكرار النوع.

ويستشهد أصحاب هذا الرأي بما يحدث للنساء عند سن الخامسة والأربعين، ففي هذه السن، تقف قدرة المرأة على الحمل وعلى الإنجاب، وهم يعتبرون أن هذه السن تمثل بدء عملية الشيخوخة الحقيقية عند النساء، ويمتد هذا الرأي كذلك لينطبق على الرجال، وإن كانت المرحلة التي تبدأ عندها الشيخوخة في الرجال، تأتي في سن أعلى قليلا منه عند النساء.

ويرى بعض هؤلاء العلماء أن بعض الظواهر الطبيعية التي نراها حولنا تعضد هذا الرأي إلى حد كبير، فبعض النباتات تموت بعد فترة وجيزة من انتهاء عملية التلقيح وتكوين الجنين الجديد. وبعض الحشرات، مثل العقرب تأكل أنثاه الذكر فور عملية التلقيح وانتهاء وظيفته، كذلك تقتل ملكة النحل الذكر بعد انتهاء طيران العرس، فلم تعد هناك حاجة لهذه الذكور.

ويستخلص أصحاب هذا الرأي من كل ذلك، أن الحياة تستمر في نموها وازدهارها بصورة طبيعية، طالما كانت لها القدرة على تكرار النوع، ولكنها تبدأ في التدهور عندما تفقد هذه القدرة، فتزداد عمليات الهدم في جسد الكائن الحي، وتبدأ أنظمة الجسم المختلفة في الاختلال، ويستمر

الانحلال التدريجي في الزيادة فيدخل الكائن الحي في مرحلة الهرم، وتنتهي حياته بالموت.

ولا شك أن مثل هذه الآراء لا تجد لها سندا علميا حقيقيا حتى الآن، فهي لم تخرج عن كونها ملاحظات عابرة، خاصة وأن هناك شواهد أخرى تعارض مثل هذه الآراء. فكما أن هناك من تبدو عليهم أعراض الشيخوخة في سن الخمسين، فهناك من يحتفظون بقواهم كاملة حتى سن الثمانين، بل قد يتجاوز بعض الأفراد سن المائة وهم يحتفظون بلياقتهم كاملة.

ولا يعرف أحد السبب الحقيقي في ظهور أعراض الشيخوخة على الكائن الحي، ولا السبب في حدوث هذا الاختلال والانحلال في أنظمة الجسم، ولكن يبدو أن هناك ميكانيكية معينة بالجسم، تبدأ فعلها المدمر في الوقت المناسب، ولا بد أن هناك شيئا ما في خلايانا يتخذ مثل هذا القرار المخيف، ويأمر بإفناء الكائن الحي وإنهاء حياته.

ونظرا لأن كل شيء في الخلية الحية يحدث طبقا لبرنامج مقرر من قبل، مسطور على جزيئات الحمض النووي DNA، فقد قوى الظن لدى كثير من العلماء، بأن هذا الحمض النووي قد يحمل أحد الجينات التي تخصصت في هذا العمل، وأن هذا «الجين» يحمل في ثناياه رسالة خاصة بهذا الأمر. ومن المعتقد أن هذا «الجين» يبقى ساكنا طوال حياة الكائن الحي، وتبقى الرسالة التي يحملها معطلة إلى حين، ولكنه في لحظة ما، ولسبب لا نعرفه، يبدأ في العمل، ويطلق الشرارة المناسبة فتبدأ عمليات الهدم والانحلال فعلها في جسد الكائن الحي حتى تفضي به إلى الموت.

ولو أن هذا حقيقي، واتاح لنا الزمن إتقان لغة الكيمياء عند الكائنات الحية، واستطعنا أن نعطل عمل هذه الرسالة التي يحملها هذا «الجين»، لأمكن لنا إطالة الحياة ولو إلى حين. وهو حلم من الأحلام التي تراود علماء هذا الفرع من العلم (علم البيولوجية الجزيئية Molecular Biology).

المراجع

١- الكيمياء الحيوية العضوية، و. ه. فريمان، سان فرانسيسكو، 1979.

Bio-Organic Chemistry, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1979.

2- لايسوزايم فليمنج، روبرت ف. آكروس. أ. هارتسل، المجلة العلمية الأمريكية، يونيو، 1960.

Fleming's Lysozyme, R.F. Acker and S.E. Hartsell, Scientific American June, 1960.

3- المخ-كتاب المجلة العلمية الأمريكية، و. هـ. فريمان، سان فرانسيسكو، 1979.

The Brain, A Scientific American Book, W.H.Freeman, San Francisco, 1979.

4- كتاب العلم المبسط جزء 3، 5. جروليه، الولايات المتحدة، 1984.

The New Book of Popular Science, Vol. 3 and 5, Grolier Incorporated, U.S.A, 1984.

5- ساجان، كارل. نظرات على تطور الذكاء الإنساني، نيويورك، راندوم هاوس، 1977.

Sagan, Carl, The Dragons of Eden: Speculations on The Evolution of Human Intelligence. New York, Random House, 1977.

المؤلف في سطور:

د. احمد مدحت إسلام

* من مواليد القاهرة في 1924/10/24

* بكالوريوس علوم من جامعة القاهرة عام 1946، ثم ماجستير عام 1951، ثم دكتوراه من جامعة جلاسجو عام 1954.

* عمل أستاذا ورئيسا لقسم الكيمياء بجامعة الأزهر عام 1964، ثم وكيلا لكلية الهندسة، ثم عميدا لكلية العلوم بنفس الجامعة من 1970-1976م.

- من نشاطاته العلمية:

* اشرف على عدد كبير من الرسائل العلمية.

* نشر اكثر من مائة بحث في الكيمياء التخليقية بالمجلات المتخصصة.

* له مؤلفات دراسية في الكيمياء وفي العلوم المبسطة.

* عضو في الأكاديمية المصرية للعلوم، وفي أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا، وفي المجمع العلمي المصري، وخبير بلجنتي الكيمياء والصيدلة والنفط بمجمع اللغة العربية بالقاهرة.



النظام الإعلامي الجديد

تأليف: د. مصطفى المصمودي